

# 快適な音環境の情報学

大 橋 力

## Information Science on Amenity Sound Environment

Tsutomu Oohashi

### Abstract

The social request for amenity sound environments has been increasing. However, the method to analyze amenity sound from the view point of the physical structure of sound environments, and methods for physiological evaluation have not been sufficiently developed. The author has developed a new measurement system for an ultra-wide range of environmental sounds using high speed 1 bit AD/DA signal processing and an analysis method of environmental sound using Fast Fourier Transmission and the Maximum Entropy Method as well as evaluation methods for amenity environments indexing brain electrical activity. As a result of these synthetic approaches, the author found the “Hypersonic Effect”, which indicates that high frequency components above the audible range activate  $\alpha$  rhythms of the electroencephalogram, and increase the sound amenity. Experiments for the improvement of sound environments in operational space and the development of a simulating system for a relaxation environment were conducted as an application of these studies.

### キーワード

音環境 快適性 環境音 脳活性計測 ハイパーソニック・エフェクト  
Sound Environment, Amenity, Environmental Sound, Electro-physiological Measurement of Brain Activity, Hypersonic Effect

### 1. いまなぜ音環境なのか

#### (1) 音環境デザインの流行

オフィスビル内の執務空間などに、場所、時間帯やひとびとの心理状態を考慮してプロ

グラムされた音楽をひくいレベルでながす“環境音楽システム”を導入することが、近年話題をよんでいる。朝は“さわやかさ”、昼休みは“やすらぎ”や“リフレッシュ”、午後は“ストレス解消”などの効果をねらった音楽が選択され、あるいはオリジナルに作曲されて、「感性あるはたらきやすいオフィス環境」の実現にひと役はたすとして好評をえているという<sup>1)</sup>。波の音や水琴窟の音、鳥の声などの自然環境音をオフィスのBGMとして利用する例もふえている。もともとBGMというのは、工場での単純作業のミスを低減させるために考案されたものだが、直接的な生産性の向上というよりは、作業者にとっての快適性の向上や疲労感の緩和などがおもな目的としてかけられているのが最近の特徴である。

また、1989年3月以来、新宿・渋谷駅をはじめとするJRのおおくの駅で、旧来の発車ベルを鐘の音やピアノ音、シンセサイザーによる合成音などにおきかえるところみがひろがっている<sup>2)</sup>。ここでは、「注意の喚起」という発車ベルの基本的機能をみだし、騒音下でたかい明瞭度をそなえ、さらに附加価値として美的要因をあわせもつ信号音の開発がめざされ、路線ごとにことなる音色やメロディをもったベルが同時に鳴っても調和するよう配慮がなされたという。地下鉄構内でも、環境音楽や自然環境音をながすことに力がいれられており、その様子はマスコミでも紹介されている。

居室内で個人的にたのしむ音楽ソフトウェアをみると、リラクセーションのためのソフトウェアがここ数年間で急速にふえ、レコード店で独立したコーナーができるほどの点数が発売されている。これらのソフトは、“アルファ波分析によるストレス解消の音楽”“f分の1のゆらぎ”“マインド・リフレッシュ”“バイオ・ミュージック”といったタイトルからもうかがわれのように、やすらぎや快適感を科学的にもたらすという点がうりものになっている。さらに音だけでなくボディソニックや映像をも併用した“シンクロ・エナジャイザー”や“リフレッシュ・カプセル”などが、“リラクセーションの最終兵器”などともてはやされている。また、衛星を使用した音声放送“St. GIGA”のように、自然音を音楽と対等なものとして位置づけ、世界各地で収録した波や風の音、川のせせらぎ、鳥のさえずりなどを、放送の重要な素材として使用して成功をおさめる放送局もあらわれた。

こうした近年のうごきは、わたくしたちが周囲の音環境に満足することができず、「快適な音環境」を欲していることのあらわれとかがえられる。実は“音環境”という用語自体、わたくし自身が、1986年度科学研究費重点領域研究“人間—環境系”「高密度生活空間の音環境における高周波音の生理的・心理的機能の検討と環境質評価」<sup>3)</sup>の研究計画書のなかで必要にせまられて独自に造語し、はじめて使用したという経緯がある。その当時には、わたくしの知るかぎりでは、このことばの使用例はみあたらなかった。このように、音環境という概念の誕生はきわめてあたらしいものであり、物質的ゆたかさの実現につづいて顕在化したアメニティ志向と軌を一にしている。ひとびとがもとめている、音と人間とのかかわりのあたらしい局面を象徴する言葉といえよう。

## (2) いまおこなわれている音環境造成の特徴と限界

人間の所在する空間内でいったん発せられた音を、いかにうつくしく快適に響かせるか、

といった観点からの研究は、音響学や建築学の領域でふるくからおこなわれ、すでに成果のおおきな蓄積がすすんでいる。しかし、それらは、検討対象がコンサートホールなどの比較的特殊な性格をもった空間であるうえ、その空間で発せられる音そのものの開発や評価については、いっさいかわりをもつものではない。

それに対して、最近の音環境造成は、わたくしたちが日常的に長時間にわたって滞在する居住空間を対象としている。そして、「どのようなシステムをつかって、どのような音を発したらその環境の快適性が向上するか」をテーマにしたハードウェア、ソフトウェア両面にわたる開発・評価を重要なポイントとしているところにひとつの特徴がある。ハードウェアについてみると、近年の音響工業技術の発達によって、比較的安価な音響再生システムであっても、ある程度良質な再生音がえられやすくなっていることは、基礎的な条件のひとつになっている。また、録音、編集、SR（サウンドリエンフォースメント＝電子的手法による音質加工をとまなう拡声）などの機器・機材の開発と、その利用法の発達の影響による音環境操作可能性の飛躍的向上をみのがすことはできない。ソフトウェアの面では、できあいの音楽をそのままつかうのではなく、その空間にあわせてデザインされ、プログラムされたものをつかおうとする傾向がつよい点が、1970年代からさかんになった商業空間でのBGM使用と本質的にことなっている。また、強烈な訴求力や自己主張をもつ音楽よりも、意識へのうったえがつかない自然環境音や環境音楽などが選択され、再生レベルが通常の音楽鑑賞時よりもひくくおさえられていることも、当然のことながら注目される。

このようにして進展しつつある音環境の“造成”あるいは“再開発”への関心はたかく、現在のところ、おおむね好評をえているようにみえる。今後、この領域への社会的投資が加速度的に増大するだろうことは想像にかたくない。しかし一方で、公共の場での環境音造成については、一種のおしつけであるとか、あらたな公害であるという見方、さらにはいやおうなしに耳から侵入する一方的な強制であり人権問題であるとするつよい反対意見<sup>4)</sup>も存在している。

ところが、こうした賛否両論に典型的にみられる混乱を整理し、真に人間生存と調和適合した音環境づくりをすすめるうえで、これまでの学問はうまく機能していない。既存の専門家のあいだでは、快適な音・このましい音というのは、不快な音・このましくない音にくらべてはるかに個人差がおおきいため、どのような音が快適な音なのかという一般論は存在しないとする風潮がつよい<sup>5)</sup>。事実、人工的に造成される音環境が人間にどのような影響をおよぼしているのか、それはたしかに快適化に機能しているか、ネガティブな影響が生じていないかといったことについて、信頼性のたかい評価検討手法が確立しているとはいえない。その結果、現在の音環境造成の現場は、レフェリー不在のまま、方法論を欠いた手さぐり状態がつづいており、結果的に恣意性のたかい作業をおこなわざるをえないでいる。さらに、こうした状況に乗じてか、いっけん自然科学的根拠や有効性を印象づける文言を商品名やキャッチフレーズとしてつかいながら、実際には直観的な作業にもとづくだけで、ほとんど実証的な有効的のうらづけをもたない商品が横行するといった、みすごせない問題が生じている。

この状況は、かつてさまざまな薬品や食品添加物が、人体との適合性について十分な検討を経ることなく開発・使用され、おおきな社会的災害をまねいた不幸な経緯と共通するところがある。物質的環境問題を通じて貴重な教訓をすでにえているわたくしたちとしては、情報的環境問題でふたたびそうした轍をふむことはゆるされない<sup>6)</sup>。ひとびとの潜在的な欲求の発露を端緒とする音環境デザインの気運を、自然科学的なうらづけに立脚した根拠ある音環境造成にむすびつけ、安全堅実な具体的とりくみにそだてていくべきであろう。そのためには、人類のもつ生物としての要求性に合致した音環境とはどのようなものかを評価する科学的な信頼性のたかい方法論をうちたて、それらを基礎にして人間生存との適合性が高度に達成された音環境造成の方途を開発することが、もっとも基本的な課題になる。

以上のような問題意識にもとづいて、この論文では、人間にとって快適な音環境はなにか、それをいかにしてつくりだしていくかについて、オリジナルに開発した生理学的評価法を主軸にさまざまな専門分野や方法論を統合しながらすすめているわたくしたちのアプローチを中心にして、最新の研究動向にもふれながら論を展開する。

## 2. 人間と音環境とのかかわり

### (1) 人類史的にみた音環境の変遷

どのような音環境が人類に適合した快適な音環境であるかを検討するにさきだち、まず、人間と音環境とのかかわりとその変遷とについて人類史的観点から簡単に整理しておきたい(図1)。

生態人類学によれば、現生人類(ホモサピエンス)がこの地球上に誕生したのはおよそ4万年前といわれ、“人類のゆりかご”とよばれる熱帯雨林をその最初の棲み場所に行っていたとかがえられている。現在でも地球上にわずかにのこる自然性のたかい熱帯雨林の音環境からうかがわれるように、太古の熱帯雨林は動植物起源のさまざまな音にみちた空間

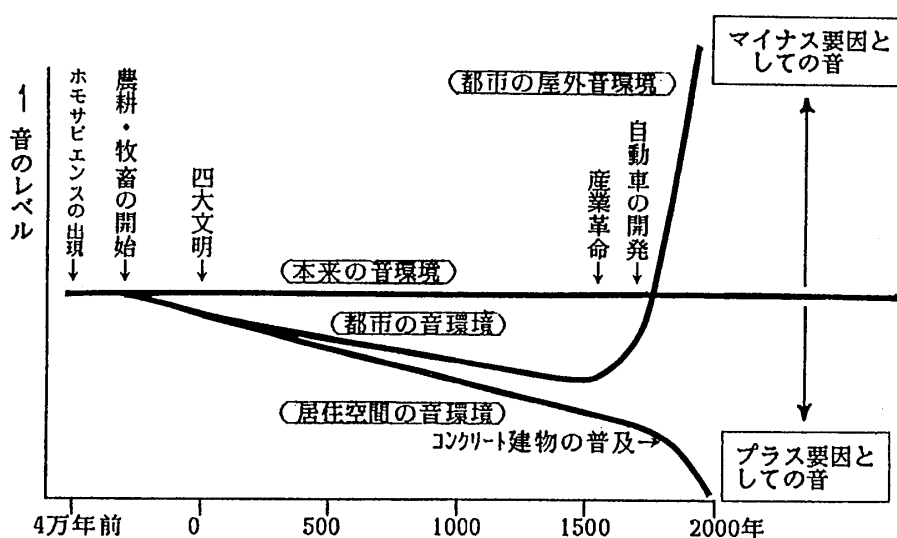


図1 居住空間の音環境の変遷

であつたろう。これは、シェーファーによると、近代西欧文明をうんだヨーロッパ大陸の森林やアメリカ大陸の草原がきわめて音のとばしい空間だったこととおおきくことになっている<sup>7)</sup>。

農耕・牧畜が発達するとともに、森林は開拓されて耕地となり、それにともなつて環境音の発生源である動植物は急速に減少していった。現在もその減少はつづいており、都市における動植物起源の環境音はすでに希少なものになっている。

一方、人間の生活にともなつて発生する音は、人口の増大および生活手段の開発とともにふえてきた。とくに、産業革命以後、エンジンの開発・普及にともなつて、機械騒音をはじめとする産業騒音が増大の一途をたどり、社会問題になることもおこりはじめた。今世紀にはいと、自動車の爆発的な普及はエンジンノイズの劇的増大をまねき、音環境の悪化は加速度的に進行している。

一方で、第二次世界大戦後は、車両や機械などがうみだす騒音の負の効果をおさえるため、発生源に対する抑制が本格的に追求されてきた。同時に、建築物の遮音性能の向上がはかられ、とくに都市では、環境音を無差別に高度に遮断した屋内空間がふえている。このようにして、最近の都市空間では、人類史に例をみないほど異常に騒音のおおい環境、または自然音のとばしい環境という二極に分化した音環境のいずれかのなかで生活時間の大半をすごす人間の生きかたが、一般化するにいたっている。

## (2) 音環境のマイナス要因としての音

自然には存在しなかった車両や機械の発する騒音・振動が、都市化の進行にともなつて環境音の大勢をしめるようになった現在、その顕著な負の影響の排除は、都市の音環境に関連したもっとも緊急で重要な問題とされている。

騒音がみちびく感覚的・心理的な負の影響については、不快感ばかりでなく、集中力の低下、作業効率の低下、作業中の誤りの増加、休息や睡眠のさまたげなど、すでに周知のとおりである<sup>8)</sup>。環境白書によれば、現在でも、公害の苦情件数全体の6割強は騒音関係がしめている<sup>9)</sup>。しかもコミュニティの解体により、近隣騒音に対する受忍限度はきびしくなる一方だといわれている。いわゆるピアノ殺人は、その典型といえよう。

騒音による生理的な負の効果としてもっとも明確なものは聴力損失だが、それ以外にもさまざまな現象が観測されている。たとえばジェット機の騒音によって白血球が減少したり<sup>10)</sup> (図2)、胎児や幼児の成長に悪影響をおよぼす<sup>11)</sup>。また内分泌系を変調させる。あるいは快適性の指標になっている脳電位の $\alpha$ リズム( $\alpha$ -EEG、いわゆる $\alpha$ 波)の活性を低下させたり<sup>12)</sup> (図3)、ストレスの指標とされる $\beta$ 波を増大させたりする。

これに対して、わが国では「公害対策基本法」にもとづいて制定された「騒音に係る環境基準」によって、一般地域と道路に面する地域それぞれについて地域類型別、時間区分別に、騒音レベル(ホン(A))を尺度とした環境基準が設定されている(表1)。また、「騒音規制法」によって騒音発生源に対する規制もおこなわれている。最近顕著なのは、家庭電化製品をはじめとする居住空間内の発音源への対応で、より騒音レベルのひくい製品が市場で歓迎されている。

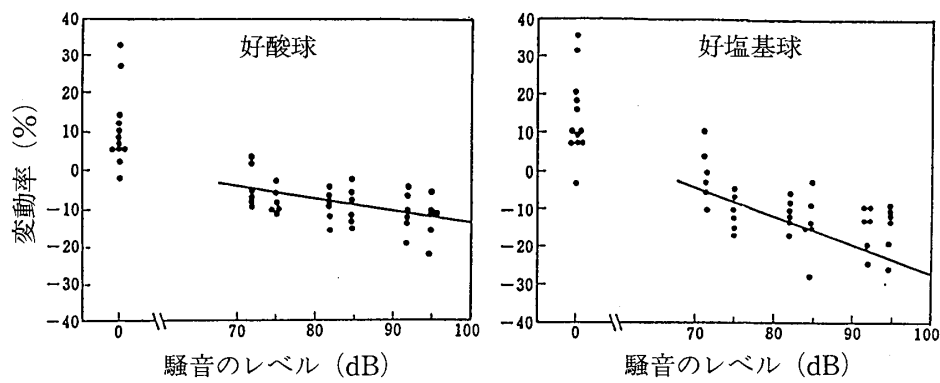


図2 ジェット機騒音のレベルと好酸球・好塩基球の変動率

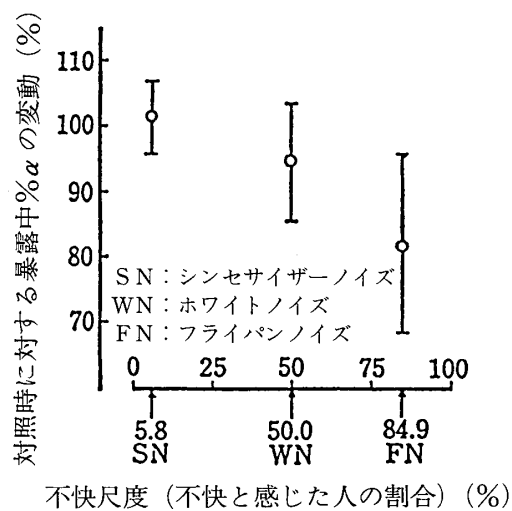


図3 不快さによる $\% \alpha$ の変動

表1 「騒音に係る環境基準」にみられる騒音レベルの規制

地 域 の 類 型	騒音レベル dB(A)		
	昼間	朝夕	夜間
AA：特に静穏を要する地域	45	40	35
A：主として住居の用に供される地域	50	45	40
B：相当数の住居と併せて商工業の用に供される地域	60	55	50
道路に面する地域			
A：2車線	55	50	45
2車線をこえる	60	55	50
B：2車線	65	60	55
2車線をこえる	65	65	60

同時に、建築物の遮音性能も近年いちじるしく向上し、用途別、部位別に設定された基準<sup>13)</sup>を達成するための建築材料や設計・施工技術が急速に発達しつつある。

### (3) 音環境のプラス要因としての音

ところが一方において、音響スタジオのように高度に遮音された環境が、人間に不安や苦痛をあたえることも、かねてから経験的によく知られている。これをさらに徹底させた環境情報削減実験<sup>14)</sup>や感覚遮断実験<sup>15)</sup>では、被験者の相当数が苦痛に耐えかねて途中で脱落するだけでなく、強行された場合には幻覚・幻聴など重症の分裂病によく似た状態を生じる。さらに、長期にわたる情報遮断が、うつ病や分裂病などモノアミン神経系の変調にもとづく精神病に関連することが、精神医学の分野で指摘されている<sup>16,17)</sup>。したがって、現在、都市域で増加の一途をたどっている情報遮閉性音環境の人間への影響については、十分に留意する必要がある。冒頭にのべた音環境デザインは、いったん環境情報を遮断した空間にあらたに環境音を附加するところみであり、情報遮閉性空間への人間の不適合性のあらわれとも解釈できる。

この問題は、これまでの環境問題とはいささかことなる性格をもっている。というのは、大気汚染から騒音・振動におよぶこれまでの環境問題は、なんらかのマイナス要因の環境内への出現または増大に端を発し、その要因を排除または制限することによって解決にちかづくという共通のロジックのうえにたつものだった。それに対して、情報遮閉性空間についての問題は、人間の健全な生存のために必要ななんらかのプラスの情報環境要因を排除していないかどうか、もし排除されたプラス要因があるとすればそれをいかにして補完するか、といういわばこれまでとは逆転したロジックをもつものだからである。したがって、この問題についての実証的な検討は、排除されるものがもっているプラスの効果を把握することをさけてとおることができない。

こうした音環境のプラス要因についての研究は、さきにのべたように、騒音・振動などマイナス要因についての研究よりも歴史的にあたらしいアプローチであり、これから本格化しようという状態にある。自然科学的な評価手法が確立するまえに、音環境デザインという現実的な流行がさきんじているのが実状である。

もっとも、こうした点について、心理学・認知科学的手法での検討は比較的先行してすすんでおり、おおくの洗練された精密な手法が開発されている。しかし、現在の心理学的諸手法は、原理的に回答者に意識できる現象にしか対応することができない。したがって、自覚されない情報入力、無意識下で影響をおよぼす場合、その影響を検知することがはなはだ困難になる。また“言語”を媒介として使用せざるをえない。そのため、言語の解釈が必然的にともなう多義性を排除することができず、質問—回答に個人差が介入する。回答者の主観や恣意的な操作が介在する余地もちいさくないという限界をもっている。

70年代に登場した音景観（サウンドスケープ）研究では、音環境をひとつの文化としてとらえ、人間とそれを取りまくいろいろな音との関係、あるいはひとびとがどのような音を意識しそれらをいかに価値づけているかに着目し、社会調査の方法論から創作活動までをふくむ、はばひろいアプローチがこころみられている<sup>7)</sup>。

ただし、音環境の人間に対する影響は、脳の高次構造の関与する情報現象である。したがって、心理的、あるいは文化的側面にまで考慮をはらうと同時に、脳という可塑性に限界をもつ生体内情報処理機構における直接的・生理的な反応であるという側面にも注目する必要がある。さいわいにも、ごく最近の情報学や脳科学などのいちじるしい進展は、この問題を検討するうえできわめて有用な手段を提供する可能性をたかめている。

#### (4) 脳と情報環境

大気や水の汚染のような環境要因をあつかう自然科学上の概念道具としては、“物質”の概念が機能し、化石燃料の浪費や地球温暖化については、“エネルギー”（エントロピー）の概念が役割をはたしている。ところがおなじ環境要因であっても、騒音や景観といったことがらについては、物質の概念は直接の接点をもつことができず、エネルギー（エントロピー）概念とむすぶことは理論的には不可能ではないかもしれないが、現実的にはあきらかに意味をなさない。こうした問題を直接あつかうことが可能な自然科学的ツールとしては、現状では情報概念が実用上ただひとつのものといってよかろう。そこで、環境要因をおおきく物質・エネルギー・情報の三種のカテゴリーに類別し、この三つの次元から総合的に問題を把握する「情報環境学」<sup>18)</sup>のあたらしい接近法が有効性を発揮する。

情報環境要因が人間におよぼす影響は、物質・エネルギー的にみると無視できるほど微弱でありながら、生命活動を左右するほど重大な結果をみちびく場合がすくなくない。プラス、マイナスいずれかがわからなくても非常に鋭敏なその反応は、脳・神経系という生体内情報処理機構をとおして増幅されて結果が発現するという例外のない原則にもとづいている。ある種の環境情報の影響は、脳・神経系そのものの領域内にそのおもな結果をとどめる。しかし、おおくの場合、脳・神経系にひきおこされた反応は、ホルモンなどの化学的メッセンジャー系を介して、全身の臓器・器官・組織そして細胞にまで、その影響をおよぼすことになる。

別の側面からみると、脳・神経系がおこなっている情報処理の具体的な過程になっているインパルス伝達、およびシナプス伝達の実体は、すべて化学反応にほかならない。これらの点に着目すると、生体内の情報現象を、分子生物学を媒介にして物質科学のがわからとらえなおす可能性をひらくことができる。

たとえば、近年情報環境との関連が注目されはじめたうつ病、分裂病などは、脳内のモノアミン系神経伝達物質の代謝が、正常なレベルを負あるいは正のがわに逸脱するという事象をその実体に行っている。こうした症状は、情報環境要因を実験的に操作することによってみちびくことができるだけでなく、脳のシナプスでおこなわれるモノアミン系伝達物質の代謝を変動させる作用をもった、レセルピンやアンフェタミンのような特定の薬物を投与することによっても、ひきおこすことができる。しかも物質・情報のどちらの操作でつくられた場合にも、脳のモノアミン代謝活性の異常というハードウェアからみて同質の現象にいきつく。したがって、この化学物質を信号とする情報伝達の異常を抑制することができる薬品をあたえると、物質・情報どちらの要因による異常の場合でもおなじように、その症状がおさえられる<sup>16,19)</sup>。



このように、脳・神経系においては、情報的環境入力と物質的環境入力とのあいだにかなり高度な相互変換性、あるいは“等価性”がよこたわっていることを否定できない。いかにいえば、脳にとっては、大気や水や脳活性の変異をみちびく物質、たとえばレセルピンやコカインに汚染されたのとおなじような打撃を、情報環境の変容、たとえば視聴覚情報の遮断によってこうむるおそれがあるのである。

近代以降定着した、人間の脳はきわめて柔軟性のたかいものという通念にはたしかに一面の正当性がある。とくに、行動主義を背景にして、人間の脳に事実上無限にちかい可塑性を期待する発想が、たとえばアメリカ文化の影響を比較的つよくうけた学者や知識人のなかで、つい最近まで支配的だった。このことから、自然の音や景観、あるいは音楽のような文化現象による環境情報入力については、物質とちがって、二次的な学習や“なれ”によって人間との不適合は解消できるとするかんがえかたが、いまもってかなりの勢力をのこしている。しかし最新の脳科学の知識は、こうした態度が、たとえば薬物耐性を習慣化や訓練によって無限に強化しようとするかたがた、自然の摂理を無視する暴挙であることをおしえてくれる。この観点からみて、環境問題や教育問題など、かなり強制されたかたちで情報入力がおこなわれる社会的現象については、手遅れにならないうちにしかるべき対応をとる必要があることを指摘しなければならない。

視・聴・嗅・味・触など五感にうったえる正・負の情報環境要因について検討するうえで、それら感覚現象を具体的にになっている脳・神経系を中心にした生体情報処理機構ときりはなしてあつかうやりかたはあまりにも限界がおおきい。現在の通念からするとこうしたことがらが文化的・社会的カテゴリーに属し、その領域での問題処理のアプローチ法が存在しているにしても、今後はできるだけ、脳・神経系の生物学・情報学を本格的に活用した自然科学的手法を中枢にすえつつ全体を統合し、超領域型のアプローチに移行することがのぞましい。わたくしたちの音環境にかかわる研究は、そのようなあたらしいパラダイムにもとづいてすすめられている。

#### (5) 人類本来の音環境とは

物質・エネルギー代謝系として人間をとらえると、大気のように環境として体をつつむものはもとより、水・食物など環境から体内にはいつてくるものについても、その内容について、種として共通の一定の要求基準を生物学的にもっている。温度・湿度そして栄養素などが、生体の要求によくあった状態で過不足なく供給され、あるいは代謝できることが生存上必須であることは、あらためていうまでもない。

一方、音のような情報的環境入力をこうした原則の例外とすることができるかどうか、物質の場合のような種として固有の生物学的要求基準はないのかどうかについては、物質的栄養要求性や薬物耐性とおなじような精密な検討はおこなわれていない。しかし、高度な騒音の影響<sup>10-12)</sup>あるいは情報削減実験<sup>14)</sup>、感覚遮断実験<sup>15)</sup>などの具体的な事実からみると、情報にかぎって、あるいは音にかぎってこうした生物学的要求性のわくぐみの例外とすることはほとんど不可能である。むしろそれは危険な独断というべきだろう。現状では、物質とおなじように、情報についても、一定の要因が過不足なく供給されることが必須で

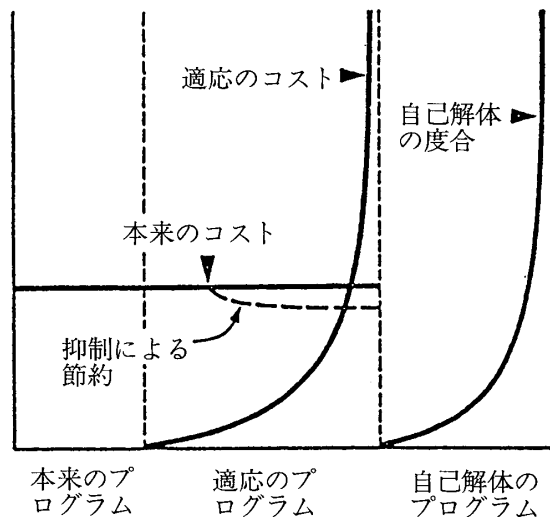


図4 生命を制御するプログラムの類別

あるという仮説のうえにたつことが妥当であり、すくなくとも安全であろうとおもわれる。もしそうであるならば、どのような音環境が、現生人類というおなじ DNA を共有するひとつの種のもつ生物としての要求基準に合致しているかということが問題になる。これを明確にすることは、きわめて困難な課題であるにちがいない。しかし、現実的に有効とおもわれるひとつの作業仮説をたてることができる。

適応の生物学によれば、すべての生物種は、地球上に実在するある特定の環境に、ちょうど鍵と鍵穴との関係のようにあらゆる面で適合するよう設計されている<sup>20)</sup>。種にとって本来のこの基本設計ではしのぎきれない環境変動に直面したとき、潜在的に準備されていた適応のプログラムが、危機管理用のソフトウェアとして起動される(図4)<sup>21)</sup>。この前提にたつと、人類としての本来性がたかく、適応レベルがひくいライフスタイルをまもって生活しているひとびとのすむ自然環境のもつ音環境を、人類の基本設計によく適合した音環境の仮想モデルとして選択することが可能になる。

以上の作業仮説にもとづいてかんがえてみると、人類学的にみてもっとも本来性のたかい狩猟採集のライフスタイルをとるひとびとが居住のために能動的に選択してきた、ホモ・サピエンス誕生のゆりかごといわれる熱帯雨林の音環境を、最有力なその候補としてとりあげることができる。また、本来は熱帯雨林であるべき地点において、自然環境にはげしい変容をくわえず生態系と共生することに成功している人類の居住をとりまく自然の音環境も、人類の基本設計にちかい音環境レファレンスとして、ひとつの候補になりうるだろう。そこで、環境音のもつ物理構造についてのすぐれた解析手段を開発して、一方でこうした自然性のたかい音環境の音響物理上の構造を分析し把握するとともに、もう一方では人為的影響が深刻におよんでいる都市空間のさまざまな地点における音環境の構造の分析を同様におこなって、この両者を比較することが有効とおもわれる。なぜならそれは、音環境悪化の実体をしりその改善をはかるうえで、もっとも基本的な知見をあたえてくれるはずだからである。このアプローチは、かつて大気や水などの汚染度を把握するために

おこなわれておおきな成果をおさめた、環境評価の原則的発想を踏襲するものといえる。

### 3. 音の物理構造から快適な音環境を解明する

#### (1) 音環境の物理構造解析手段を開発する

“音”とは元来、人間の聴覚で知覚できる空気振動を意味するものだった。したがって、音を記録したり分析したりするうえでも、物理的にみると、人間の可聴周波数帯域である20Hz～20kHzをカバーすれば十分とかがえられていた。そのため、在来の録音機や音響分析装置のほとんどすべては、20Hz～20kHzの範囲内でその機能を保証するにとどまっている。

こうした音に対する観念を根底からゆるがしたのが、“低周波公害”である<sup>22,23)</sup>。車両などが発生する人間の耳には音としてきこえない10Hzとかそれ以下の振動が、無意識のうちに人体にはたらきかけ、さまざまな生理的・心理的障害をもたらしていることが、否定できない事実として浮上してきた。この問題に遭遇した以後においては、自然科学的に厳密な意味でいう人類にとっての音環境をかんがえるにあたって、それが聴覚系によって音として知覚されるかいなかをとわず、現実の人類生棲空間に存在するすべての空気振動および大地などを媒体として伝播する弾性振動を、対象から除外することができなくなった。

このことは、可聴周波数帯域だけを対象にしていたこれまでの音環境計測データのすべてを、いったん保留の立場におくことが要請されたことを意味する。そして、現実におこりうる空気振動のすべてを記録し、分析できる手段の開発と、それらをつかってあらためて音環境の計測・評価をおこなうことが緊急にもとめられているわけである。

これはきわめて困難かつ深刻な課題といわなければならない。というのは、自然におこりうる空気振動は、低周波側については、理論的にはどこまでもありうるはずである。現実問題として妥協をもとめるにしても、1～2 Hz程度までの特性は確保しなければならないだろう。高周波の振動は、空気というメディアがそれを減衰させやすいために、一定の限界をもつことを考慮することがゆるされるかもしれない。とはいえ、自然環境のなかで数m以内に音源が所在する場合、人体に100kHz程度の振動が到達することは十分にありうるので、すくなくともこの程度まではカバーしなければならないだろう。

つまり、人間をとりかこむ音環境を、現実にかいかい状態で振動現象として記録・分析するためには、現実的妥協を前提としても、周波数範囲として1 Hz～100kHz程度の帯域幅が必要になる。この規格は、現在の高度化した電子音響技術をもってしても、実現がきわめて困難である。低周波がわにだけ注目してみても、マイクロフォンやデータレコーダーの低域特性は、20Hzを達成することさえ容易ではない。高周波がわの困難性の度合は、低周波がわをはるかにうわまわる。まず100kHzまで感受性をもつマイクロフォンはきわめて例外的な存在で、エアコンされた測定室内でかろうじて作動するような計測用の機種が2～3種類開発されているにすぎない。データレコーダーにいたっては、デジタル系ではサンプリング周波数48kHz（録音周波数上限24kHz）どまり、スタジオ用の特別仕様でもサンプリング周波数96kHz（録音周波数上限30kHz）をこえるものがない。アナログレコーダーは動作が不安定なうえ、可搬性のものでは、60kHzまでレスポンスをもつものが

上限になっている。

さらに、まえにのべた人類本来の音環境として熱帯雨林ないしそれにちかい自然環境を対象にした場合、原則的に車両の進入が不可能であり（進入可能であればエンジンノイズの汚染によって使用にたえるデータがえられない）、もちろん交流電源は存在しない。しかも高温多湿の条件は、マイクロフォンをはじめとする精密機器の正常な動作をさまたげ、しばしばその破損をみちびく。つまり、在来の手段・方法はまったく使用に耐えないといっても過言ではない。

このように、既成のやりかたをもってしては、もっとも基本的な環境音の物理構造を本格的に再検討することが不可能である。そこでわたしたちは、まったく構想をあらたにし、現在のぞまれるレベルの研究を実現可能ならしめる研究手段を、ハード・ソフト両面にわたって開発することにした。

#### 〈目標規格〉

まず、開発すべきシステムの理想とする目標規格をつぎのように策定した。

##### 1) 入力部

・マイクロフォン：1 Hz～100kHz のレスポンスを有し、5 Hz～50kHz の範囲内で良好な特性をもつこと。野外の自然環境で使用に耐えること。堅牢であること。・ファンタム電源：電池式で小型軽量の可搬型であること。・プリアンプ：DC～100kHz 範囲で良好な特性をもつこと。電池式で小型軽量の可搬型であること。

##### 2) 信号処理部

・記録再生方式：ディジタル方式であること。すなわち AD/DA コンバーターとすること。・性能：1 Hz～100kHz を記録再生できること。すくなくとも 5 Hz～50kHz の範囲について良好な特性をもつこと。電源内蔵、可搬型のシステムであること。連続して30分以上の記録が可能であること。一般の音響機器に接続可能であること。

##### 3) データ記録部

できれば市販のディジタルオーディオテープレコーダー (DAT) をそのまま利用すること。ディジタル I/O を経由して上記 AD/DA コンバーターとのあいだでデータ入出力が可能なこと。電源内蔵で小型軽量の可搬型であること。SMPTE タイムコードジェネレータを内蔵し、タイムコードによる同期運転が可能なこと。

#### 〈システムの構成、開発〉

つぎに、設定された目標にしたがって、システムの開発、構成を以下のようにすすめた。

##### 1) 入力部

マイクロフォンとして、周波数特性の面から、B & K 社4135型フリーフィールド・コンデンサーマイクロフォンを選択した。この機種は空調された測定室内でつかうことを前提にした計測専用マイクとして開発されたもので、周波数応答としては 4 Hz～100kHz±2 dB というすぐれた性能をもっている。しかし、いくつかの点でこの研究目的には適合が困難である(図5)。第一に出力レベルがひくく動作が不安定で雑音を発生しやすい。専用のプリアンプがあるが、測定用のため雑音レベルがたかく、周波数レンジもせまい。第二に

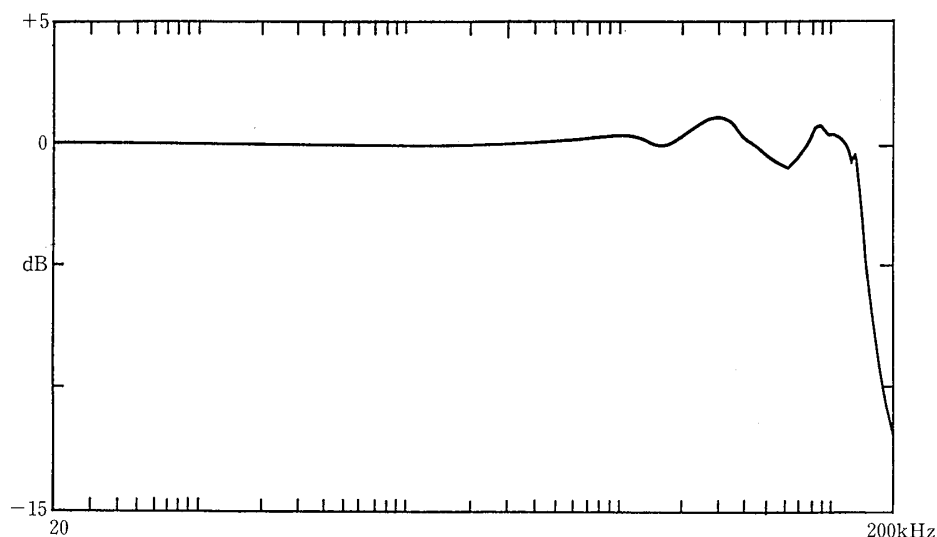


図5 マイクロフォン B&K 4135の周波数特性

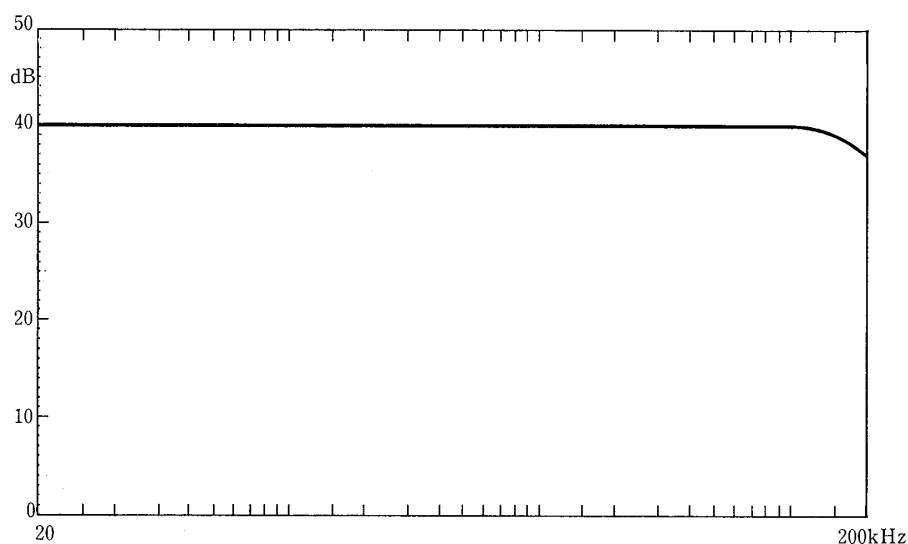


図6 改造したプリアンプ B&K ME-3213の周波数特性

成極電圧が DC200V (通常は12~48V) ときわめてたかく、特別仕様の専用ファンタム電源装置を必要とする。このたかい成極電圧は、たとえば結露に起因するショートによってダイアフラム (振動板) を一瞬間に破壊し、修復することができない。

そこで、これらの問題について対策をこうじた。まず第一の問題、低レベル低 S/N の克服のためには、高性能のプリアンプを対応させることとし、高周波特性に限界のある B&K 社 ME-3213プリアンプをメーカーの協力によって改造して、200kHz まで平均な特性のものをつくり、これをつかった (図6)。ただしこれでも S/N 的には満足すべきレベルに達したとはいえない。そこで最近の機器についてさらに調査をつづけた結果、スイス SONOSAX 社が1991年発表したポータブルミキサー SX-PR 型の使用によって、かなりの改善がえられた (図7)。

第二の問題である成極電圧のたかさはいかんともしがたいが、計測時以外はつねに、マ

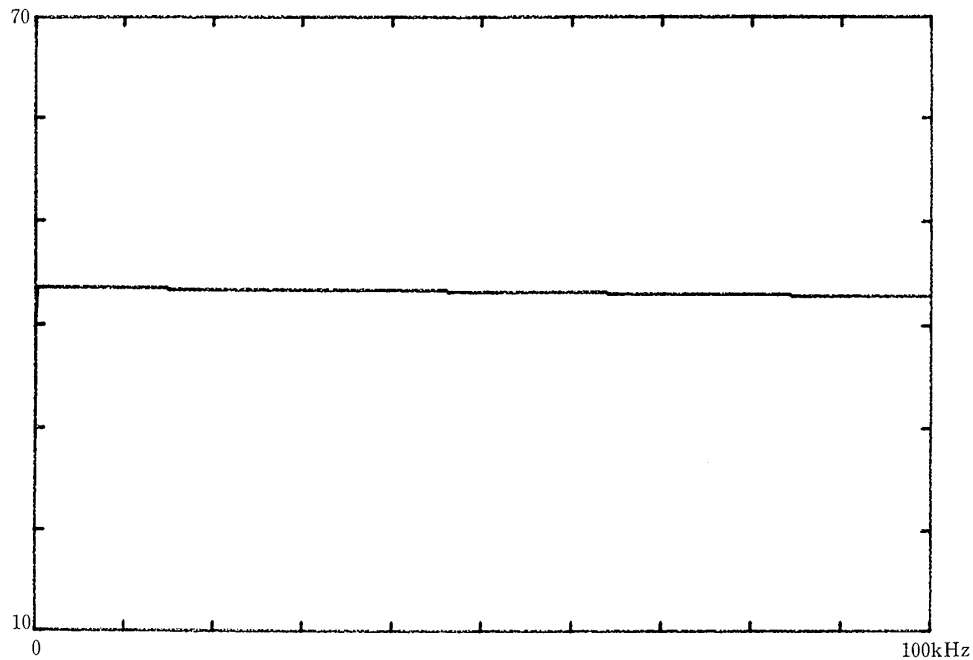


図7 SONOSAX の周波数特性

イクカプセルおよびヘッドアンプの部分気密容器のなかにシリカゲルとともに格納し、半導体湿度計によって常時モニターしながら湿度を20%以下にたもち、さらにカプセル～ヘッドアンプ部を随時熱風式ドライヤーでブローすることによって、動作の不安定化および結露ショートによる破損を防止することに成功した。しかし、以上のような対応によっても、熱帯雨林など高湿度条件下では、30分間以下で連続使用の限界に達することがしばしばある。

## 2) AD/DA コンバーター部

まず実験室用として、サンプリング周波数500kHz、量子化ビット数16ビットのAD変換機を導入した。しかしこれはかなり大型で交流電源を不可欠に要求するうえ、記録体として大型の固体メモリーまたはハードディスクシステムを必要とし、フィールド用としてはまったく使用できない。そこで、あらためて方式そのものの検討をふくむAD/DA変換システムについての調査をおこなった。そのなかで、パイオニア株式会社副社長山本武夫博士から、音場解析等の目的のために早稲田大学理工学研究所特別研究員山崎芳男博士が開発したあたらしいAD変換方式がこの研究の目的に適合性がたかいのではないかと助言をえた。そこでさっそくこの方式すなわち“YY符号化による1ビット高速標本化方式<sup>24)</sup>”について検討したところ、原理的にみてこの研究への有効性はいちじるしくたく、従来のどの方式にくらべても圧倒的な有効性をもつであろうとの結論がえられた。

以上にもとづき、山崎博士に正式に協力をもとめ、この研究の目的に高度に適合したあたらしいAD/DA変換システムの開発をおこなった。こうして以下の性能をもった実用水準の試作機の開発に成功した。

—超広帯域ポータブル AD/DA コンバーター試作機の規格—

- ・記録方式：1 bit 高速標本化方式（YY 符号化）
- ・標本化周波数：768kHz、705.6kHz
- ・量子化ビット数：1
- ・チャンネル数：2
- ・周波数伝送特性：DC～50kHz（-1dB）  
DC～100kHz（-3dB）
- ・ダイナミックレンジ：100dB（20Hz～200kHz）
- ・エンファシス特性：220 $\mu$ s、-2.2 $\mu$ s
- ・入力端子：BNC×2（アナログ）  
光・同軸各1（ディジタル）
- ・出力端子：BNC×2（アナログ）  
光 ×2（ディジタル）  
同軸 ×1（ディジタル）  
ヘッドホン用ステレオ×1  
（上のディジタル入出力は、現在市販されている DAT と、そのディジタル I/O を介して接続でき、48kHz または 44.1kHz フォーマットによって記録、再生をおこなうことが可能である。）
- ・電源部：単 2 電池12本  
メーター（VU 計、電源電圧計兼用）×2

以上は AD/DA 変換部と電源部とにわかれたセパレート方式であり、AD/DA 部のサイズは250×150×70(mm)、重量は1200g、電源部のサイズは160×220×70(mm)、重量1300g、というきわめて小型軽量のものである。実測した周波数特性を図8に示すとおり、DC

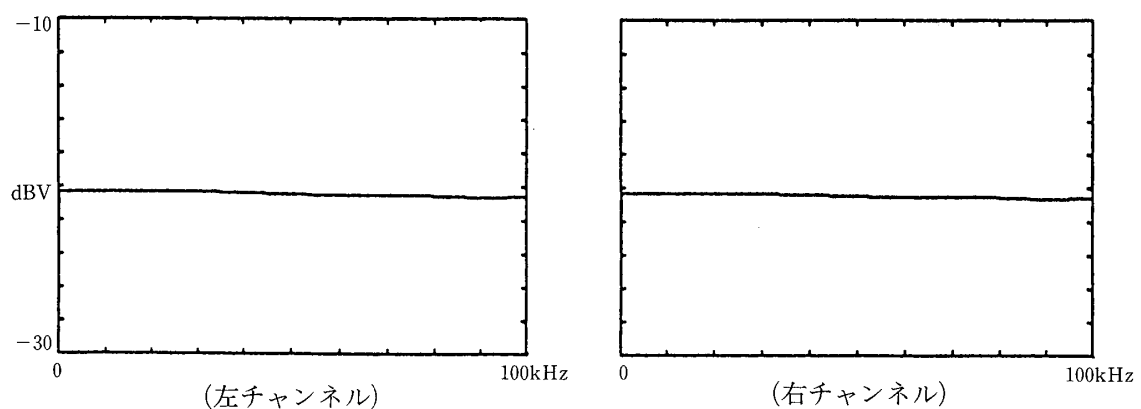


図8 山崎方式 AD/DA コンバータの周波数特性

～100kHz までほぼ平坦であるうえ、音質も自然性のたかいきわめてすぐれたものとなった。通常の DAT をつかってデータを記録できるため、2 チャンネル同時記録で最大120分の連続動作が可能になっている。以上を総合的に評価すると、現存する可搬型 AD/DA のなかで、国際的にみてももっとも高性能のものではないかとおもわれる。テストの結果、実験室内はもとより、熱帯雨林、山地、熱帯水田農耕地帯などの自然環境内で安定して動作することがたしかめられた。

### 3) データ記録部

山崎方式の AD/DA システムの成立によって、市販の DAT が使用可能になったことはおおきな前進である。これをフィールドで使用する場合、AD/DA 部の電力消費をひくくともめらるうえから、光デジタル入・出力とすることがのぞましい。最近にいたって電池式で小型軽量のポータブル DAT がいくつか開発された。そのなかで、光デジタル入出力系をもつ、SONY TCD-D3、および光デジタル入力系をもつ DENON DTR-80P を記録部本体として選択した。しかしこれらの機種は、SMPTE タイムコードを使うことができない。そこで実験室用データ記録系としては、SMPTE タイムコードジェネレータを内蔵し、同期運転が可能な SONY7050据置式 DAT を使用することにした。これらはすべて、市販の DAT テープを使用して、最大120分間の連続記録が可能である。

以上のように各要素を選択あるいは開発したうえで、全体をシステム化してその動作をたしかめた。システム構成は図9に示すとおりである。この系は、安定してその性能を発揮し、システム開発については、当初の目標をうわまわる水準でその目的を達成したといえる。

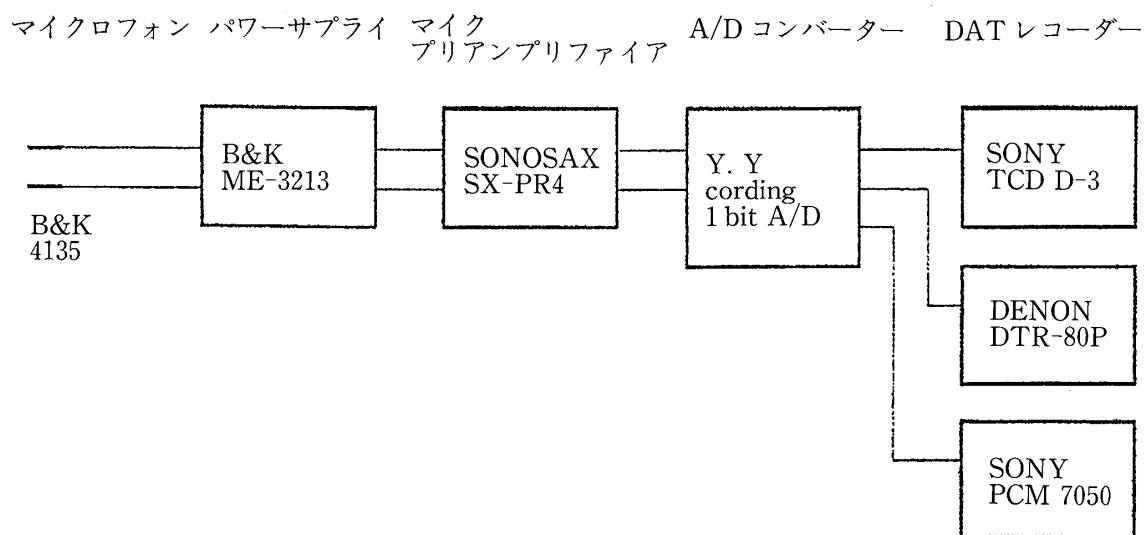


図9 超広帯域環境音収録システム

### (2) 典型的な環境音を収集する

あらたに開発されたデジタルレコーダーによって、典型的な環境音の収集をおこなった。さきにのべた熱帯雨林など、人間本来の音環境の仮想モデルとして選んだ対象および



都市のきわめて人工的な騒音環境の音を収集した。それらの対象はつぎのようなものである。

〈自然性のたかい環境音の収録〉

1) パナマ・バロ・コロラド島の自然環境音

バロ・コロラド島はパナマ運河内にある面積15.64km<sup>2</sup>の比較的小型の島で、米国スミソニアン熱帯科学研究所が所有し、学術目的のために原生の熱帯雨林を理想的に保存しているものである。同研究財団の許諾、協力のもとに、1991年6月28日～7月4日の7日間この島に滞在して、環境音の収録をおこなった。この森林内では、多種多様な動植物を起源とする環境音が量的にもきわめて豊富である。それにもかかわらず、感性的には、全体の印象はきわめて快適な静寂感が支配的であった。

時間・空間的にさまざまな測定ポイントを設定して収録をおこなったが、起伏のおおいた地形の複雑な原生雨林のなかを機材すべてを手はこびで移動し、80%をこえるたかい湿度とたたかいながらマイクロフォンをはじめとする精密な機器を動作させるために、作業は困難をきわめた。最大の障害になったのは、マイクロフォン系のトラブルの多発である。AD/DA系はまったく支障なく作動した。ただし、虫の声など、可聴周波数帯域にくらべてそれをうわまわる高周波領域のパワーが相対的につよいものがおもな入力になった場合には、VUメーターの目盛りのうえでは低レベルでありながら、エンファシスで強調された高周波域でクリッピング歪みが発生する。そのため、VUメーターが指標としてまったく機能しないという事態が発生した。これを解決するためには、現在のところ、収録音をリアルタイムでAD→DA変換し、直接聴覚によってモニターしながらレベルをコントロールするしか方策がない。このことから、昆虫や鳥獣などの発する音を主体にする熱帯雨林固有の音を収録するためには、密林のなかに機器とともにひそんで、身じろぎもせず100%リアルタイム・モニターをおこなうというきわめて過酷な作業を余儀なくされた。

2) バリ島農村の自然環境音

インドネシア・バリ島は南緯8度に位置する面積約5600km<sup>2</sup>の火山性の島で、ゆたかな降雨にめぐまれている。中心部に3000m級の山をいただき、全島が海に向かってなだらかに傾斜している。その斜面を利用して有名な“ライステラス”とよばれる水田がすみずみまでひらかれた、典型的な水田農耕地帯である。これを周辺の未開の島々と比較すると、本来は熱帯雨林が全島をおおっていたであろうことは想像にかたくない。自然との共生にたけたバリ島の伝統社会は、その居住空間にゆたかに植栽をとりいれており、それらを生息の場にして昆虫や鳥獣をはじめとする動物たちも稠密に生存している。

このようなバリ島農村の居住空間は、原生の熱帯雨林を水田開発するにあたって十分に抑制されたかたちで人為的加工がくわえられた、すぐれて自然性のたかい環境のひとつといえる。その環境音の感性的評価をいうならば、まさに快適のひとつにつきる。こうした環境音の構造を分析し、熱帯雨林のそれと比較してなんらかの共通性をみいだせるならば、快適な音環境のもつ物理構造上の指標を追求するうえで、きわめておおきな収穫になるだろう。

そこでバリ島のなかでももっとも降雨量のおおいといわれるギャニヤール県に所在する

ウブド村に環境音収録の拠点をもうけ、周辺のさまざまなポイントで録音をおこなった。そのおもなものは植栽のゆたかな住居の庭園、水田とその周辺、寺院や集会所などである。

バリ島での収録で問題になってのは、ひとつにはバロ・コロラド島とおなじ高温多湿によるマイクの障害である。もうひとつは、観光開発を主因とする自動車およびモーターバイクの激増で、それらによるノイズが混入しない収録をおこなうためには、深夜から早朝にかけての時間帯をえらぶしかなかった。ただし、エンジンノイズがまったく存在しない音状況のなかに車両が侵入してエンジン音がたかまってくる過程のドキュメントから、エンジンノイズによる音環境構造の変質状況がかなり明確に把握できたことは、ひとつの収穫といえる。

#### 〈都市環境音の収録〉

自然からのへだたりができるだけおおきい環境音を収録するうえでは、わが国の東京都内は世界的にみてもっとも妥当な対象のひとつといえるだろう。そこで、ひとつの観測地点を大型のトラックをふくむ自動車やバイクの音などのエンジンノイズが主体となる環状6号線に面した地点に設定し、もうひとつの観測地点を市街地固有の人間の雑踏による音とエンジンノイズと鉄道をはしる電車の音とが交錯する JR 大塚駅南口広場に設定して収録をおこなった。

### (3) 環境音分析手法についての検討

収録した環境音をどのような指標によって分析するかについては、慎重にかんがえなければならない。さきにのべたように、従来つかわれてきた音環境評価の指標は、騒音レベルという量的な尺度がほとんどそのすべてにちかい状況だった。この尺度は音の質的なないし感性的側面をほとんど対象にすることができず、しかもすべての環境音を一括して排除または抑制の対象にすることを前提としている。したがって、この価値尺度のうえにたつと、絶対無音の生活空間が、そのいちじるしい危険性を無視されるばかりか、きわめてすぐれた音環境として評価されるという結果をみちびく。この点にかぎっていえば、最近の脳科学や精神医学の知見とははなはだしい不一致がみられ、きわめて問題のおおきい危険な価値判断であることはいなめない。

一方、社会調査やサウンドスケープ研究などでおこなわれているように、最初から人間の主観に照準をしぼり、質問紙調査と統計処理とをくみあわせることによって、環境音に対する人間の感性的な反応を抽出する方法がある。これは、どのような音が快適であり、不快であるかを検出し、定量的にその信頼性をうらづけることができる点では、騒音レベルという環境音の質的な側面や快適性を考慮しない指標よりもすぐれた面をもっている。しかし、さきにのべたように、この方法は被験者が主観的に自覚できる現象しか対象にならず、質問用語の解釈がひとりずつことなることによる混乱もさけられない。また、回答者が恣意的ないし虚偽の回答をあたえることも防止できない。

さらにわたくし自身はこれが他に指摘された例をしらないが、この方法を感性的プラス要因の評価に適用するにあたって致命的といえるほどの深刻な問題がある。それは、この方法で快・不快を問うと、たとえばたばこ、アルコール類などの嗜好品、麻薬・覚醒剤・

幻覚剤などの薬物のように、あきらかに人間生存と対立関係にあるとおもわれる快感誘起要因が、きわめてたかい評価を獲得する可能性がおおきいという原理的な大問題を潜在させていることである。

たしかに、これら既存の方法はそれぞれのすぐれた有効性をもっており、これからも音環境を総合的に評価していくうえで、欠くことのできないものであることはうたがいない。しかしそれぞれを単一に絶対的価値尺度としてつかうことは、今後はできるだけさけるのが賢明な選択といえるだろう。むしろ、いくつかの評価尺度を合理的にシステム化することによって、安全性のたかい判断がえられることに注目すべきである。

こうした観点から従来の価値尺度をふりかえり、吟味検討をくわえると、現在弱体であり、強化すべきであるとおもわれる面を抽出することができる。まず第一に、音のもつ空気振動という物理構造の側面について、現行の音圧レベルというような素朴な量的尺度だけをつかうやりかたを脱し、適切な質的評価指標をみいだすことである。この面について現在有効性が期待できそうなものをあげると、そのひとつは“周波数分布”であり、もうひとつが“ゆらぎ構造”であることは、関連する専門家のなかで、おそらく衆目の一致するところといえるだろう。(ある振動現象について、そのパワースペクトルを両対数軸座標空間にえがかせたときの回帰直線の勾配、すなわちスペクトルの勾配をしらべると、ゆらぎ現象の性質が分類できる<sup>25)</sup>。この方法をゆらぎ構造分析と定義する。)

第二に強化すべき面として、主観的あるいは心理的評価法のおおきな限界をうめる生体情報計測による生理的反応をもとにした評価尺度の確立があげられる。この面では、“脳波の周波数分布にもとづく画像解析”、おなじく“脳波のゆらぎ構造解析”などが有望なものとして浮上しつつある。

さらに、この第一と第二のアプローチ法をくみあわせ、従来の方法と連動させることによって、現在とは比較にならないほど信頼性のたかい評価体系を構成することも、夢ではない。

以上のべたような展開をはかるうえからも、環境音の物理構造の解析は重視しなければならない。そこでわたくしたちは、収録した環境音の物理構造を分析するにあたって、周波数分布と、ゆらぎ構造との双方に注目することにした。今回わたくしたちがおこなったような、超広帯域、高精度の環境音収録はこれまで例がないので、この質のたかい素材にみあった分析条件をあらたに設定することにした。

#### 〈FFTによる周波数分布解析〉

従来のオクターブバンド解析でなく、現在、振動の周波数分布をしらべるもっとも普遍的な方法としてもちいられている高速フーリエ変換(FFT)によって、一定時間内にマイクロフォンが受容した空気振動の時間平均パワースペクトルを算出した。小野測器自動FFTアナライザCF-360をもちい、サンプリング周波数128kHzおよび12.8kHz、加算平均回数256回という条件でスペクトルをえがかせた。この場合、高周波領域の構造を識別しやすいように、周波数をしめす横軸をリニア一目盛に設定した。

#### 〈FFTによるゆらぎ構造解析〉

FFTでえられるスペクトルを両対数軸のグラフ上に記述すると、スペクトルの勾配が

ら、ゆらぎ構造を推定することができる。この方法によって収録環境音のもつゆらぎ構造について、概括的な知見をうることをこころみた。FFT 分析は、前項と同様におこない、そのデータを両対数座標軸上に表示したうえで、横軸に平行なカーブをランダムな振動の性格をもつもの、横軸に直角にたちあがるピークを、周期性のつよい振動の存在を反映するものとして、おおよその判断をくだした。

#### (4) 物理構造からみた音環境

熱帯雨林に代表される自然性が高度にたもたれた快適な音環境では、音あるいは空気振動の存在が、質・量ともにきわめて豊富である。動植物起源の自然音をその主力とし、静寂さを感じさせる場合でも、実測音圧レベルは50dB (SPL) をこえることがおおい。このレベルは、都市騒音では一般に不快感につながり規制の対象になりうる。この点において、これまでつかわれてきた音圧レベルに準拠する量的な尺度による評価は、感性的な反応と一致しない。この単純な事例からも、音環境問題については、より一歩ふみこんだ質的な側面からの分析、評価が必要であることがわかる。

そこで高速フーリエ変換 (FFT) をつかって音響物理学的な構造の面から快適な自然環境音と都市騒音とを比較検討してみたところ、両者のあいだには歴然たるちがいがみいだされた(図10)。まず、周波数分布のうえでは、自然環境音の場合なによりも、可聴域上限20kHzをはるかにうわまわる高周波領域にまで、かなり顕著なパワーがみとめられることが注目された。

それに対して都市の音環境では、エンジンをはじめとする機械騒音の存在が支配的で、周波数分布は、自然性のたかい音環境に比較して低周波領域へのかたよりがいちじるしい。その反面、10kHz 以上の高周波帯域では、ときおりブレーキ音などによるピークがみられる以外には、ほとんどパワーがみとめられない。

さらに、コンクリートなど新建材をつかったあたらしい建造物のなかでは、屋外の騒音が遮断され、きわめて音のすくない環境が作りだされている。この場合、たかい周波数の成分ほどより遮断されやすく、屋内に伝達される環境音はほぼ5 kHz 以下の帯域にかぎられるという一般的な傾向がみられる。こうした空間内に機械装置や電子機器などが設置されると、しばしば、可聴周波数帯域をはずれた高周波域に、機器類の発する周期振動のするどいピークが孤立してあらわれる (図22)。

また自然環境音と都市環境音との音圧ゆらぎ構造を比較すると、以下のような特徴がある(図11)。まず50Hz~1 kHz の低周波帯域では、自然環境音の場合、スペクトルは比較的ひくいレベルで平坦なカーブをえがき、微弱なランダム性の空気振動が存在するにすぎないことをしめす。一方都市騒音の場合、低域側できわめてたかく、高域側にむかって顕著に低下するカーブがみられ、周期振動とランダムノイズとの中間にあるようなゆらぎ構造が存在することをしめしている。都市の屋内では、スペクトルは低い周波数領域で低下し、周期性のつよい低周波音が選択的に屋内に侵入していることがわかる。

つぎに1 kHz~10kHz の中間帯域では、自然環境音の場合、パワースペクトルは起伏にとんだかずおおくのピークをとまなう特徴的なパターンをしめしつつ高域にのびている。

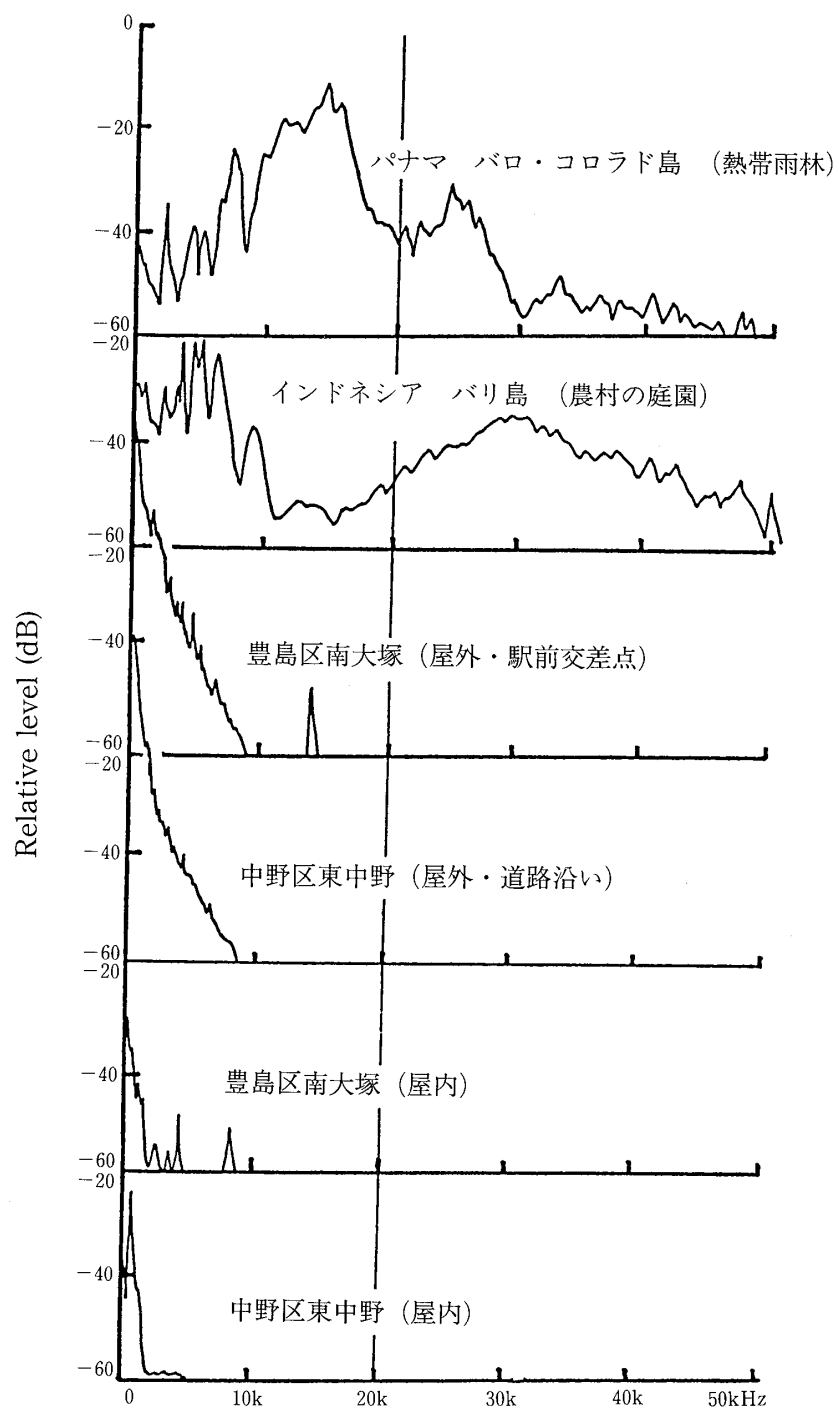


図10 自然性のたかい環境音と都市環境音の周波数分布

微弱なランダム性のゆらぎと、倍音をもとなう高度な構造をもった周期振動とが共存したかたちで、鳥や虫の声など音色の固有性がたかい多様な音源が、時間・空間的ひろがりをもって分離のよい状態で存在しているようすを反映している。それに対し、都市騒音のスペクトルはこうしたピークをもたず高域にむかって低下し、よりあいまいで混沌とした音空間の構造を反映している。屋内ではパワー自体が計測できない。

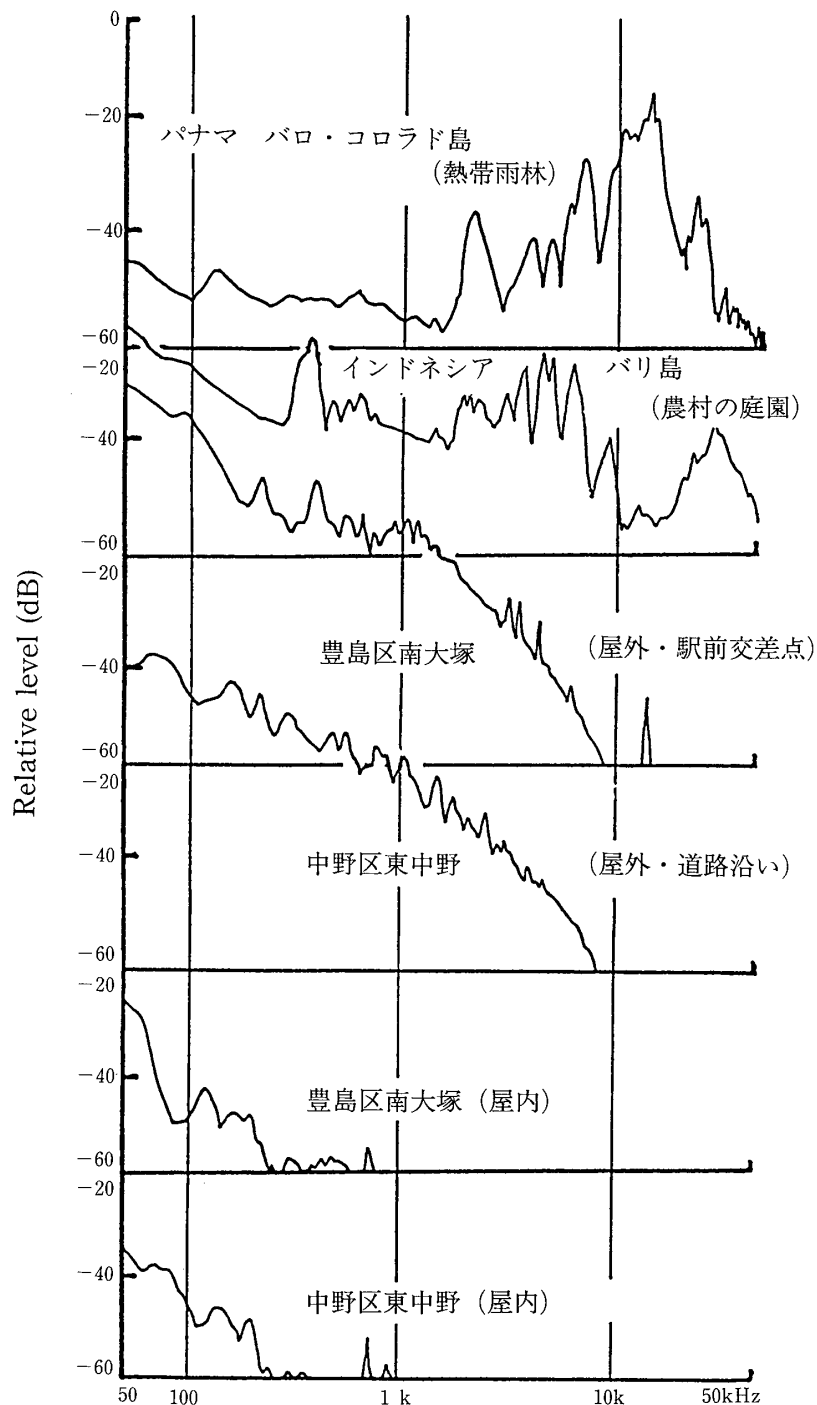


図11 自然性のたかい環境音と都市環境音のゆらぎ構造

さらに10kHz 以上の高周波帯域をみると、自然環境音では、カーブは起伏をくりかえしながら高域にのび、可聴域をこえる20kHz 以上においても、いくつかの特徴的なピークをしめす。これは、快適性のたかい自然環境音では、可聴域以上の高周波領域にも、ある構造をもった空気振動が存在していることを反映しているものとおもわれる。それに対し都市騒音の場合、この帯域では機械装置を起源とするするどいピークがときおりあらわれる

以外、パワーそれ自体がみとめられない。

#### (5) 最大エントロピー法 (MEM) による環境音構造解析のこころみ

##### 〈最大エントロピー法のもつ可能性〉

FFT による分析は自動化された専用機器の普及にともなって現在きわめて洗練された段階に達し、波動現象の標準的な解析手法のひとつとしてたかい信頼がおかれている。しかしこの研究が目的としている環境音の超広帯域にわたる詳細な構造解析という点からは、いくつかの限界があることも事実である。そうした FFT の限界を打破し、より信頼性のたかい解析結果をもたらす可能性をもったあたらしい方法として、Wavelet 法をはじめとするいくつかの方法が提案されており、そのひとつに最大エントロピー法がある。

最大エントロピー法 (MEM) は、1967年 J. Burg により原理が提案されたのち、地球物理学などのかぎられた分野で応用されていたが、コンピュータの普及にあいまって、短い測定時間で高分解能のスペクトルを推定することができる画期的な方法として、近年さまざまな分野で注目をあつめるようになった<sup>26,27)</sup>。

その原理を簡略にのべると、波形の時間的連関性に着目して、情報エントロピーを最大にするという条件のもとに連立方程式をくみため、過去の波形から次の波形が予測できるような時間的規則性をきめていくものである。そして最後に変数を周波数に変換してスペクトルをもとめる。

MEM の特徴は、高速フーリエ変換 (FFT) と比較してかんがえるとわかりやすい。MEM は、まず第一に、みじかい測定時間のデータから、長時間にわたる周期性をたかい精度で推定することができるという特徴がある。この理由は、有限な測定時間内のデータに対する根本的なとりあつかいかたのちがいにある。FFT の場合、測定した時間内にみられる波形は全体の一部であり、おなじ波形が無限にくりかえされていると仮定する。ただし、ただくりかえしただけではつなぎ目が不連続になってスペクトルがおおきくゆがんでしまうため、つなぎめが連続になるように、適当なウィンドウ関数 (たとえばハニング・ウィンドウ) をかける。この操作によって、実際の波形とかなりおおきなちがいが生じる可能性があり、周期を精度よく推定するためには、長時間の観測時間が必要になる。これに対して MEM では、測定した時間内の波形だけしか前提にせず、波形をまったくゆがめることがないため、そのぶんだけ信頼性のたかいスペクトルがえられる。それにとどまらず、測定時間以外の時間もふくめた長時間の周期性も推定することが可能である。したがって MEM は、これまで環境音計測で困難とされてきた衝撃音、断続音のような非定常的な音現象に対しても非常に有効である。

第二に、MEM で分析できる周波数の範囲は、その上限は FFT とおなじくサンプリング周波数によってきまるが、その下限は FFT よりもずっと低周波までのびるので、一度にあつかえる周波数範囲がひろがるという特徴がある。音環境の物理特性を検討する場合、さきにのべたように 1 Hz~100kHz という $10^5$ にもわたるスケールをとりあつかうことが要求される。FFT では、この範囲を一度にあつかうのは不可能なので、サンプリング周波数を変えて何度も分析をくりかえし、それらを合成するという効率のわるい作業が必要にな

る。これにくらべて MEM では、条件さえととのえば 1 種類のサンプリング周波数でもこのひろい周波数帯域をカバーすることが可能である。

第三に、FFT でえられるのが離散的なスペクトルデータであるのに対して、MEM では連続したスペクトルデータがえられるという特徴がある。このため、FFT のようにえられたデータを内挿して連続したスペクトルにするという手続きが不要であり、二つ以上のスペクトルのあいだの比較や、ピークの形状、勾配のような詳細な分析においてもはるかに信頼性がたかい。

#### 〈分析方法の開発〉

実際に MEM をつかって、収集した環境音の物理構造を解析する手法の開発をこころみた。以下に具体的な方法をのべる。

##### 1) 周波数分布および音圧ゆらぎ構造の解析

時系列データ  $x_i (=x(i \cdot \Delta t))$  に対し、情報エントロピー  $H$  を最大にする条件は、自己相関関数  $C_k = E\{x_i \cdot x_{i-k}\}$ 、( $E\{\}$  は期待値) をつかって

$$\frac{\partial H}{\partial C_k} = 0$$

とあらわせる。この式と、自己相関関数とスペクトルの関係式 (Wiener-Khintchine の関係式) から次の連立方程式がみちびかれる。

$$\begin{bmatrix} C_0 & \cdots & C_m \\ C_1 & \cdots & C_{m-1} \\ \vdots & & \vdots \\ C_m & \cdots & C_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \gamma_{m1} \\ \vdots \\ \gamma_{mm} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_m \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

ここで  $\{\gamma_{mk}\}$  は予測誤差フィルタとよばれる未知係数で、 $m$  を以後モデル次数とよぶ。 $P_m$ 、 $C_m$  も未知としてこれらの式に Burg の条件よりみちびかれる方程式  $\left(\frac{P_m}{\gamma_{mm}} = 0\right)$  をくわえて漸近的に解をもとめ、これから MEM スペクトル

$$P(f) = \frac{\Delta t \cdot P_m}{|1 + \sum_{k=1}^m \gamma_{mk} \exp(i2\pi f k \Delta t)|^2}$$

を計算する<sup>27)</sup>。

まず、FFT によって分析したのと同様に、環境音の音圧のゆらぎ構造分析を周波数分布の分析とあわせておこなった。

録音データを 128kHz および 12.8kHz の 2 種類のサンプリング周波数でとりこみ、MEM を応用して新規に作成した分析プログラムにより、1 Hz~50kHz の範囲のスペクトルをもとめた。モデル次数  $m=50$ 、加算平均回数 8 回とした。

一般に、ひろい周波数帯域を対象にして精密な分析をこころみる場合、周波数帯域によっては環境音の信号レベルに対してシステムノイズが無視できないレベルに達し、結果を不正確なものにみちびくおそれがある。そのため、入力信号とシステムノイズとをうまく分離する必要がある。本来の音環境のスペクトルを  $X(f)$ 、システムのノイズがくわわって観測されるスペクトルを  $Y(f)$  とすると、一般的に、周波数の関数  $H(f)$ 、 $N(f)$  をつかって、



$$Y(f) = a(X(f) \cdot H(f)) + bN(f)$$

とあらわせる。わたくしたちのつかった録音システムにおいて、無音の状態で録音したシステムノイズのスペクトルの考察により、近似的に  $H(f)$ 、 $N(f)$  をもとめた。すなわち、マイクロフォンアンプのゲインをあげて入力レベルを上昇させたとき、それに比例してノイズレベルがあがるスペクトル部分を分離することが可能であり、これから  $H(f)$  をもとめ、入力レベルに関係なく常にレベルが一定のスペクトル部分から、 $N(f)$  をもとめた。これをつかって、観測されたスペクトル  $Y(f)$  から逆に  $X(f)$  を計算することにより実際の環境音にちかいスペクトルをもとめた。

また、MEM の問題点として、FFT にくらべて計算時間がながいことにより多数のサンプルを加算することが困難なために、サンプリングされた環境音の実時間が、ミリ秒ないし数十ミリ秒オーダーという短時間となる。これが時間的にかたよった局所的音現象をピックアップすることにつながると、現実を反映しないデータをみちびく可能性がでてくる。都市騒音は定常性がつよいのでこのことにはそれほど問題はない。しかし自然性のたかい音源では動物の鳴き声など突発的な音現象が多数あり、サンプリングの部分によってデータにかなりちがいがでる。これをふせぐための方法として、サンプリングのタイミングを十分時間をあけて、バランスよくおこなうことが有効である。実際に自然音のサンプリングを何種類かのタイミングでおこなったところ、2 秒以上間隔をあけるとバランスのよいスペクトルがえられることがわかった。

## 2) 振幅ゆらぎ構造・周波数ゆらぎ構造の解析

ここまでは、空気の粗密波である音圧のゆらぎそのものをあつかってきた。環境音では、このゆらぎとともに、音のつよさをあらわす振幅や、音のたかさをあらわす周波数も時間的に変化しているはずである。これらについても MEM によってゆらぎ構造を分析できるので、それをこころみることにした。振幅ゆらぎについては、  
音圧の実効振幅

$$A_i = A(i \cdot \Delta T) = \sqrt{(\Delta T)^{-1} \int |x(t)|^2 dt}$$

をもとめ、この時系列データを MEM によって分析した。モデル次数  $m=50$ 、加算平均回数 4 回とした。

周波数ゆらぎについては、一定時間内に音圧波形が 0 点をとおる頻度を  $n$  として、瞬間的な周波数を

$$f_i = f(i \cdot \Delta T) = (2\Delta T)^{-1} \cdot n$$

と定義して時系列データをもとめ、同様に分析した。

### 〈結果と考察〉

以上の方法によりえられた結果を図12、13にしめす。

まず周波数分布および音圧のゆらぎ構造をみると(図12)、MEM は、約100Hz 以上では FFT によるものとよく一致したスペクトルをあたえる。すなわち、この領域で MEM は、実績ある FFT のかわりにつかっても、ほとんど差のない結果をあたえるものと判断される。それ以下の超低周波領域については、FFT によってえられたスペクトルでは信頼性の

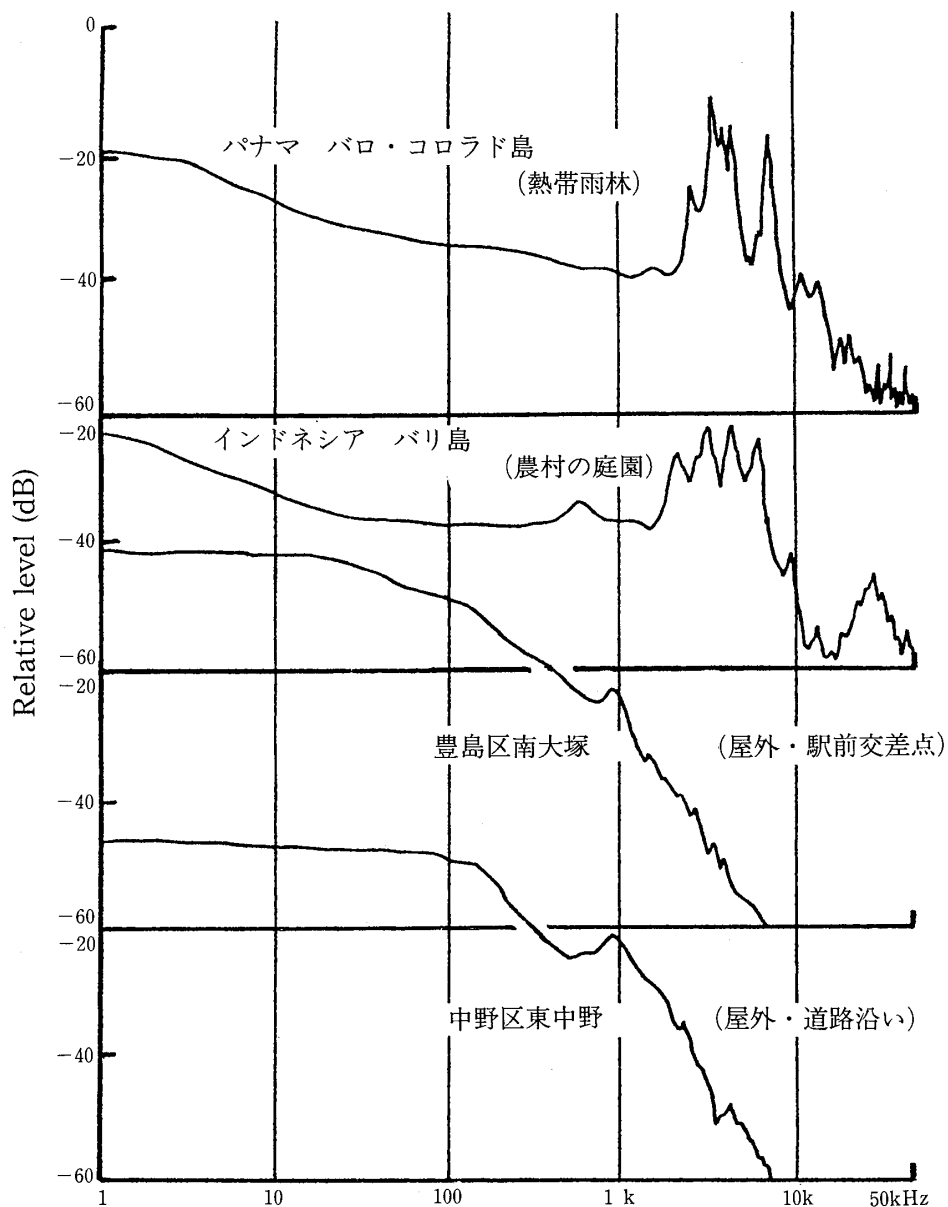


図12 MEMによる自然性のたかい環境音と都市環境音の音圧ゆらぎ構造

たかい意味ある情報をえることは困難である。それに対して、MEMでは環境音ごとにそれぞれ特徴的な勾配をしめすスペクトルがえがかれ、低周波成分の周波数分布および音圧ゆらぎについてより有用な知見をえられることが示唆された。音圧ゆらぎ構造のうえからもっとも注目される都市騒音と自然環境音とのちがいは、都市騒音では50Hz以下のスペクトルがまったくフラットで、ほぼ完全なランダムノイズの性質をしめすのに対して、自然環境音ではゆるやかな勾配が1 Hzあたりまでつづき、ひくい周波数の周期性をふくむことである。

以上の結果にみられるように、MEMは100Hz以上の周波数領域ではFFTと同様に機能するうえ、超低周波領域ではFFTではえることが困難な情報をあたえるという利点が

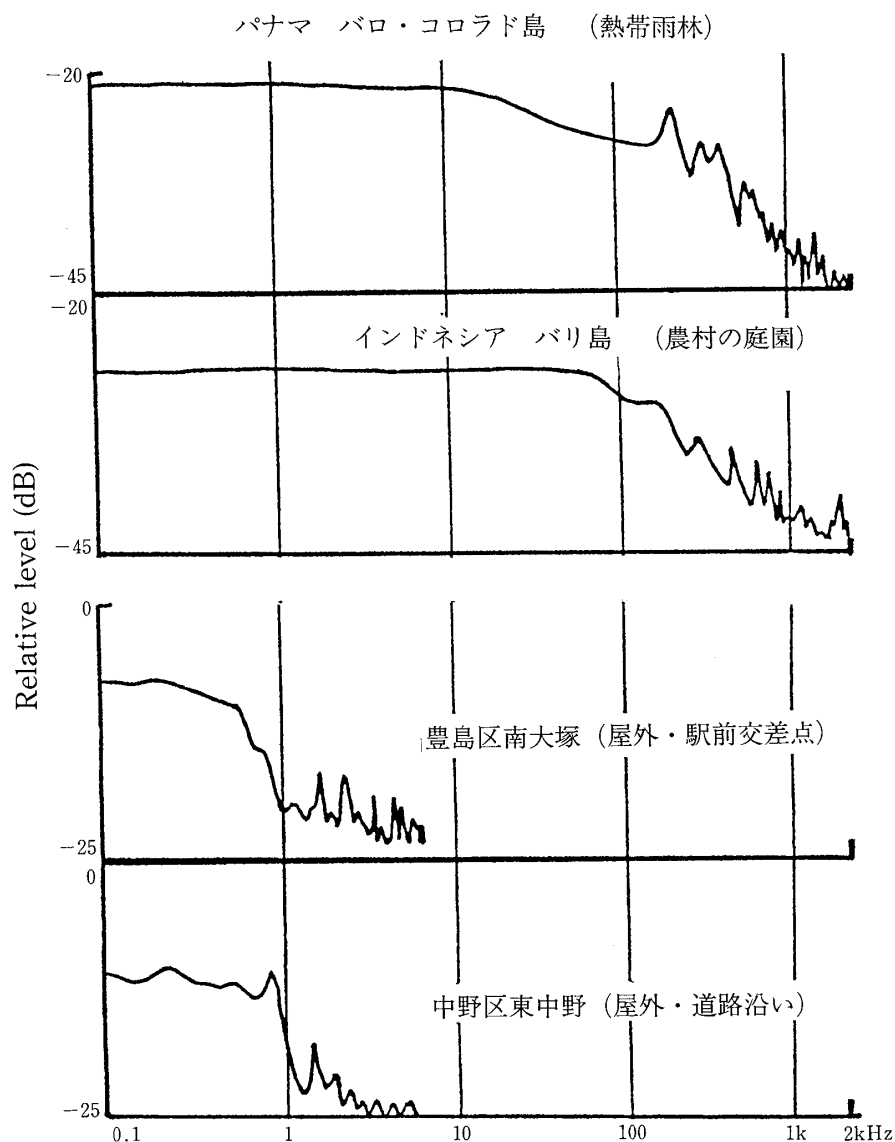


図13 MEMによる自然性のたかい環境音と都市環境音の振幅ゆらぎ構造

ある。したがって、環境音の分析手法としては、MEMの方がFFTよりもより有用性がたかいとかんがえてよからう。

つぎに振幅のゆらぎ構造をみると(図13)、自然環境音の場合、スペクトルは2 kHz ちかくまでなだらかな勾配で下降している。このことから、いわゆる $1/f$ のような、ランダムノイズと周期振動の中間の性質をもつ音の強弱のゆらぎが存在し、しかもその変化が非常にはやい領域までにおよんでいることがわかる。これに対し都市騒音ではひくい周波数に急な勾配をしめす部分がみられるが、それ以外の部分ではランダムノイズの性質をしめす。

また、周波数のゆらぎ構造では、予想されたことではあるが、スペクトルは特徴的な勾配をしめさない。その原因は、都市環境音の場合、さまざまな周波数の音が混在していてそれぞれ独自にゆらいでいるとかんがえられること、また自然環境のなかの音源は、おおきく音程が変化するものはすくないとおもわれることなどにあるといえよう。

ここでは比較のため、体験や文化的規模の共通性を前提とせずに不特定多数のひとびと

に快感を誘起する傾向がつかみとめられる数種類の民族音楽について、同様な分析をおこなってみた。その結果、自然性のたかい音環境のもつ特徴と共通した周波数分布やゆらぎ構造上の特徴を、いくつかもっていることがわかった（図14）。

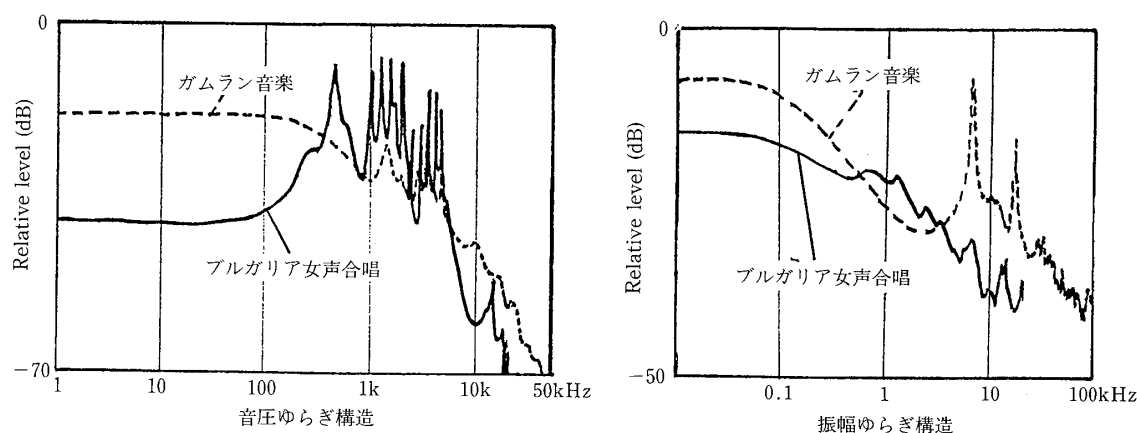


図14 快適性のたかい音楽のゆらぎ構造

たとえばブルガリアの女声合唱は、音圧のスペクトルが1 kHz～10kHzで多数のするどいピークをしめす状態、そして振幅のスペクトルがなだらかな勾配をしめしながら高域にむかって下降する状態が、自然環境音にちかいパターンをしめす。インドネシア・バリ島の伝統的な青銅打楽器によるアンサンブル、ガムラン音楽では、音圧のスペクトルからみると20kHzをうわまわる高周波成分をおおくふくむところが、また振幅のスペクトルでみると鋭いピークをとめないながらも全体としてはなだらかな勾配をしめすところが、自然環境音とよくにている。ここで振幅ゆらぎにみられるおおきなピークは、音楽がきぎむビートを反映しているものとかんがえられる。

以上の結果から、空気振動の物理構造の面から環境音の快適性を評価する指標の候補として、周波数分布と、音圧および振幅のゆらぎ構造とが有力なのではないかという結論に達した。

東工大(当時)の武者ら<sup>25)</sup>は、音楽の快適性の指標として、音響パワーおよび楽音周波数の $1/f$ 型のゆらぎを提唱しており、わたくしたちのえた結果は、その結果の一部ともよく一致する。ただしこれまでの音楽・音響のゆらぎの研究は主として、対象となる楽器などの音源を特定することによって周波数や音響パワーを明確に定義できるものを対象にし、かつそれが発生する空気振動を発生源においてとらえるという発想がよかった。それに対して環境音を対象にした場合、特定することができない多種多様の発音体が膨大な数さまざまな地点に存在するきわめて複雑な音源空間を想定しなければならない。また、音環境の評価概念は、人体という受信体を考慮してはじめてなりたつものだから、情報処理系を内在させた人体という弾性体に到達する空気振動その他の振動を総合的にとらえる観点のうえにたつものでなければならない。

このように複雑な音環境の物理構造の分析については、これまでと発想をかえた評価の手法を開発する必要がある。わたくしたちがこころみた最大エントロピー法(MEM)によ

る解析は、FFT のもつ限界をこえて超広帯域にわたる周波数を詳細に分析できる。原理的にみると、FFT が波動を時間的に変化のない周期振動としてとらえるのに対して、MEM では連続する波形の時間的連関性という側面からアプローチする。そのため MEM は、環境音のようなほとんど周期性のない確率的不規則振動の解析に対してより適合性がたかいということもいえるのではないだろうか。MEM による環境音構造解析のころみは、環境音の性質を特徴づける指標を抽出し、評価にむすびつけるうえで、これまでの方法のもつ限界をかなりおおはばに打破でき、現実の有効性が期待されるのではないかとかんがえられる。

#### 4. 脳活性を指標として快適な音環境をとらえる

##### (1) 脳活性計測による快適性評価法を開発する

###### 〈指標の設定〉

すでにのべたように、音をはじめとする情報環境の快適性の評価は、これまでは主として社会調査や心理実験など、質問紙調査と統計処理にもとづく方法によっておこなわれてきた。しかし、こうした方法は高度に洗練をかさねた結果、それによってえられるであろう成果の質・量両面にわたる限界にちかづきつつあり、研究効果・効率の通減傾向がめだちはじめている。また、主観的検討法が原理的にもっている信頼性の限界がおおきな問題となっている。こうした限界を克服するうえからは、対象者の意識・無意識をとわず、その精神活動をより直接的、定量的にしかも効率よく把握できるあたらしい生理学的手法を開拓し、実用化していくことが、もっとも有効だろう。その面で画期的な信頼性の向上が期待される自然科学的なアプローチ法として、生体情報指標、なかでも脳の活性の変化を直接しらべる手法が注目される。

脳を破壊せずにその活動状態を外部から観測する手法は近年さかんに開発され、PET

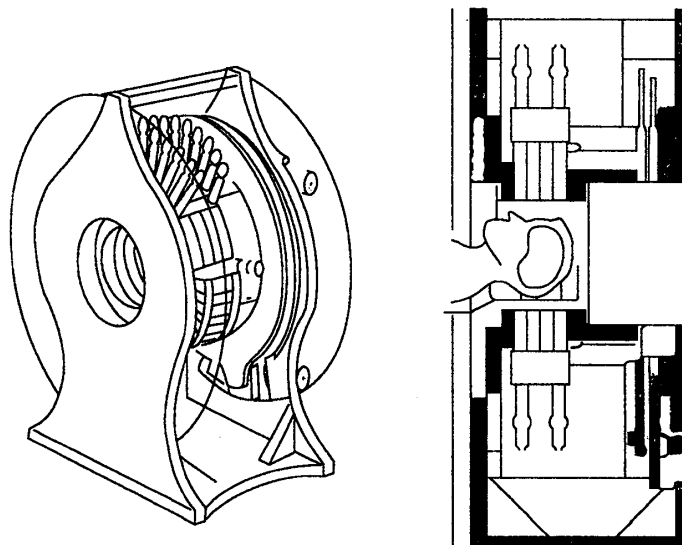


図15 PET の計測システム

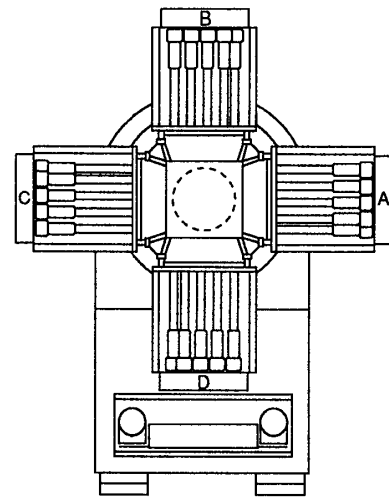


図16 SPECT の計測システム

(図15)<sup>28)</sup>や SPECT (図16)<sup>29)</sup>などが実用段階にはいっている。ただし、これらの手法は元来、医療目的のために開発されたもので、莫大な設備投資を必要とするうえ、計測機器が音を呈示するうえで障害となるような構造をもち、測定時には被験者に強度な心理的圧迫感をあたえる。したがって、病気や生理的異常の発見などの用途には有効であっても、快適性の評価のためにこれらをそのまま使用することは現実的とはいえない。そこでこの研究では、原理的にみてそうした問題がすくない脳活動の指標である脳波 (EEG) を採用することにした。

脳波をもちいた分析は、 $\alpha$  波 (8~13Hz)、 $\beta$  波 (13~30Hz)、 $\theta$  波 (4~8 Hz)、 $\delta$  波 (1~4 Hz) などの帯域別におこなわれることが一般的である。ここでは、覚醒状態下でのこころよさ、平安感、快適性あるいは集中性などの指標としてよくしられているだけでなく、不快な音によって抑制されること<sup>30)</sup>、快適な音で活性化されること<sup>31)</sup>が報告されている  $\alpha$  波に着目して、この帯域の電気的活性を脳活性の指標とすることにした。

#### 〈脳活性データの計測〉

これまで一般的な脳波計測法では、被験者の頭皮に多数の電極をつけ、そのケーブルを測定機につないだうえ、測定台上で安静仰臥姿勢をとらせる。この方法ではわずかのからだのうごきが雑音発生につながるため、みじろぎもせず静止していることが要求されるという拘束がつよいものである。そのため、測定行為それ自体が被験者を現実にはほとんどありえない不快な状態にみちびき、マイナスの心理的バイアスをおよぼすことをさけられない。病気の指標になる異常脳波の検出などの目的にはそれでもさしつかえないが、快適性を評価するうえでは、原則的に問題がある。そこで、無線でデータ送信をおこなうことで被験者に行動の自由をあたえるテレメトリアル方式を導入し、拘束感をおおはばに低減させた非侵襲型の計測方法を設定した。これによって、ほとんど日常生活にかかわらない状態に被験者をおいて実験をおこなうことが可能になった。さらに、高速フーリエ解析 (FFT) によって  $\alpha$  波パワーの時間的平均値をえる方法を採用した。その際に、通常おこなわれている分析対象時間の10倍以上のデータを取りこんで計算をおこなうことによって、

実験中の被験者の心理的変動などの影響をおおはばに圧縮し、信頼性のたかいデータを安定してあつめることが可能になった。

#### 〈画像解析〉

頭皮全体にわたる脳活性の構造的な把握を可能にするために、脳波の頭皮上での状態を視覚化する脳画像解析手法のひとつ、Brain Electrical Activity Mapping (BEAM)<sup>32)</sup>を導入した。頭皮上12箇所にて電極を配置し、計測した脳波データについて、FFTによって帯域別平均パワーの平方根を算出し、各電極位置における各帯域の脳波の等価的電位とした。これらをもとに、直線補間法をもちいて、頭皮上にグリッド状に仮定した2565点の等価的電位値を推算し(図17)、頭皮上の電位分布を色分けしてしめす等高線地図(BEAM)をえがいた。 $\alpha$ 波帯域についてこの画像解析を適用することにより、呈示音の快適性の度合を、15色でグラフィックに表現された脳活性画像の変化として、ひとめでとらえることが可能になった。さらに、BEAMをえがく途上でえられる頭皮上2565点における帯域別の電位値を、ノイズをキャンセルしたのちすべて加算して、電位の総和値( $\mu V$ )を計算するプログラムをつくった。この電位の総和値は、頭皮上で検出された帯域別の脳電位活性の変化をトータルに指標するものとみなせる。

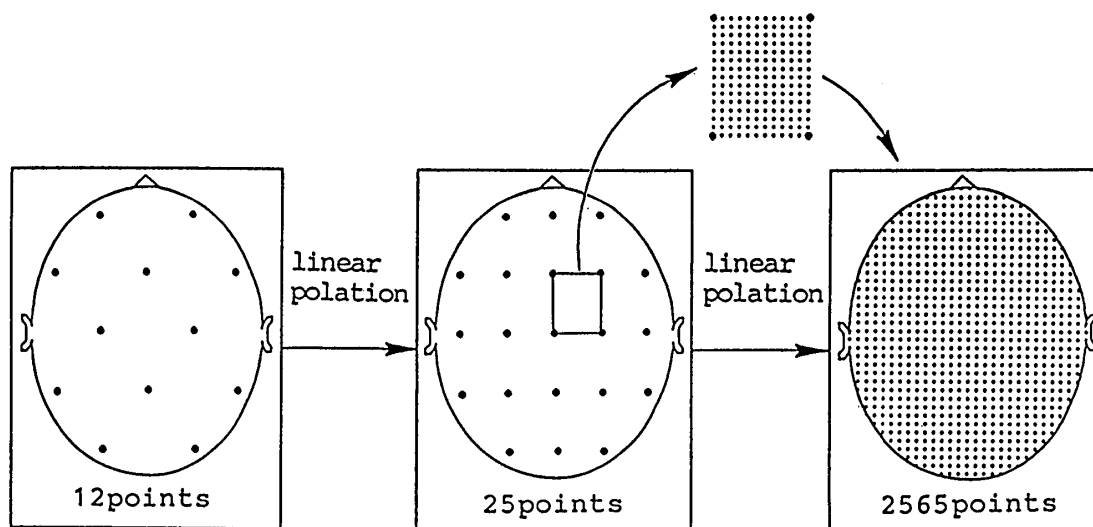


図17 頭皮上2565点における $\alpha$ 波帯域の等価的電位の計算法

#### 〈定量化〉

各条件ごとの電位の総和値の比をとって、その帯域におけるパワーの増減率 $v(\%)$ とした。これによって、音環境の快適性に対する被験者の反応を、数値によって比較することが可能になった。

この方法をもちいて、環境音遮断～非遮断をくりかえし、その間の脳活性の変化を検討すると、環境音を遮断したとき、快適性を指標する $\alpha$ 波帯域の活性が抑制され、ストレスを指標する $\beta$ 波帯域の活性が増大した<sup>33)</sup>。これは、さきにのべたプラス要因としての環境音の重要性をしめすとともに、この手法の有効性をうらづけるものといえる。

この研究が開発した以上の解析手法は、解析の精度、処理できる情報量、処理時間、解析条件設定の自由度などの点で、音あるいは環境からの情報入力の影響を検討しようとする従来のさまざまな脳波分析法とくらべてかなり前進をとげた手法といえる。高速・大容量のワークステーションの開発と普及とが、このような効果的な分析手法の開発を可能にした。これまでわが国においては、古典的な脳波研究に対する信頼性はかならずしもたかいものとはいえなかったが、このようなあたらしい解析手法の登場は、脳波を指標とした脳活性研究についてのネガティブなイメージを一挙に払拭するものとかんがえられる。

## (2) ハイパーソニック・エフェクトの発見

さきにみたように、自然性のたかい本来的な音環境と人為的な都市の音環境とのおおきなちがいのひとつは、可聴域をうわまわる高周波成分の有無にあり、自然環境音のもつ高周波成分は、可聴域をはるかにこえる領域にまで、かなり豊富に分布している。周知のように、人間の可聴域上限は20kHz以下である。しかし、低周波公害では、可聴域をしたまわる20Hz以下の低周波空気振動が、人間には音として知覚できないにもかかわらず、深刻な生理的障害を人間にあたえることが判明した。それ以降は、それが音として知覚できるかどうかにかかわらず、人間が現実にくくめる空気振動のすべてを研究の対象から除外することができないというきびしい制約が発生していることはすでに指摘したとおりである。そこで、自然音に豊富にふくまれる高周波成分が人間にはたして影響をおよぼすのかどうか、およぼすとしたらそれはどういうものであるかを、この研究で開発した脳活性を指標としたアプローチ法で検討した。

### 〈脳活性を指標とする検討〉

呈示用音素材は、可聴域をこえる高周波成分が豊富にふくまれているインドネシア・バリ島のガムラン音楽とした。音呈示のために、音源の成分を一定の周波数をさかいにした高周波成分とそれ以下の低域成分とに分離し、それぞれを完全に独立して再生呈示することのできる“バイチャンネル再生系<sup>34)</sup>”を開発した。この再生系をもちいて、高周波をカットしないでそのまま再生した音と、26kHz以上の高周波をカットした音とを交互に呈示した(図18)。

まず、それぞれの被験者ごとに20秒ごとのBEAMをえがき、高周波成分の有無による $\alpha$ 波帯域の脳電位活性の時間変化を追跡した(図19)。その結果、被験者により差はあるものの、高周波を豊富にふくむガムラン音を呈示したとき脳波 $\alpha$ 波のパワーがかなり顕著に増大し、高周波をカットした音をきかせると、その活性が低下することがみいだされた。その場合、高周波をふくんだ音の呈示をはじめてから $\alpha$ 波帯域が十分に活性化されるまでにおおむね20秒がついやされ、ひきつづき高周波をカットした音を呈示しはじめてからその活性がひくいレベルに達するまでに60～100秒間もの時間がついやされる。

そこで、音呈示開始60秒後からのデータのみを対象として、高周波成分の存在による $\alpha$ 波帯域の活性の変化を定量的に検討した(表2)。高周波をカットしない音を呈示すると、16人中12人の被験者で、高周波をカットした音が呈示されたときにくらべて $\alpha$ 波帯域の活性が増大した。被験者によっては120%をうわまわる増大をしめすものもあった半面、その



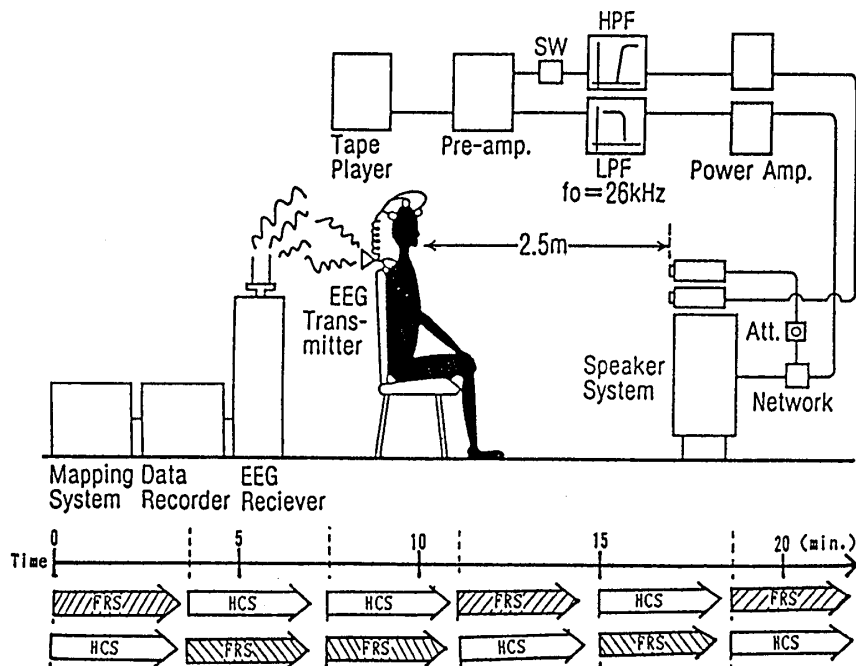


図18 高周波成分附加・除外実験のブロックダイアグラム

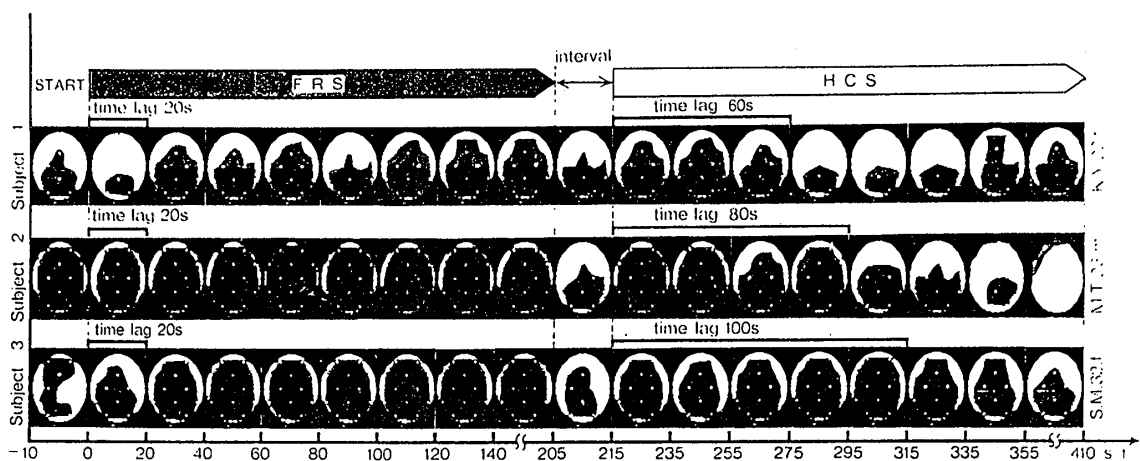


図19 高周波成分非除外・除外音を呈示したときの BEAM の20秒ごとの変化

減少については最大の被験者でも4%以下だった。ガムラン音楽の高周波音だけを呈示して無呈示の場合と比較した第二の実験では、16人中6人の被験者だけが明瞭な活性化を認め、ホワイトノイズをつかってガムランの高周波とパワースペクトルを近似させた高周波を呈示した第三の実験では、はっきりした活性化は2人の被験者でしかみられなかった。なお、26kHz以上の高周波成分だけを呈示した実験では、それを音としてききとることのできた被験者はひとりもいなかった。この結果は、自然音のなかにふくまれている可聴域をうわまわる高周波成分が、人間の脳に対してなんらかのプラス要因として機能する可能性があることを示唆している<sup>35)</sup>。

表2 高周波成分の存在による  $\alpha$ -EEG の活性変化

Subject No.	EXP.1	EXP.2	EXP.3
	$\frac{V_{\text{FRC (Gamelan)}}}{V_{\text{HCS (Gamelan)}}}$ (%)	$\frac{V_{\text{HFC (Gamelan)}}}{V_{\text{No Sound}}}$ (%)	$\frac{V_{\text{HFC (White noise)}}}{V_{\text{No Sound}}}$ (%)
1	+134.9	+69.1	+34.2
2	+122.1	+63.0	+4.9
3	+98.1	-14.8	-61.9
4	+54.7	-1.8	-6.9
5	+40.5	-22.2	-24.6
6	+35.6	-1.4	-19.6
7	+18.0	+5.8	+1.9
8	+13.2	-2.9	+4.9
9	+11.9	-90.7	-96.9
10	+10.9	-29.4	-23.0
11	+10.2	+3.1	-0.6
12	+8.3	+76.7	+55.8
13	-0.8	-4.1	-24.1
14	-2.3	+10.0	-14.1
15	-3.1	-1.6	+0.3
16	-3.2	+11.0	-3.7

FRS: Full-Range Sound, HCS: High-cut Sound,  
HFC: High Frequency Component ( $f_0=26\text{kHz}$ )

#### 〈心理学的手法による検討〉

それでは、こうした高周波成分は、人間の音知覚に影響をおよぼしているのだろうか。この点をあきらかにするために、従来もっとも権威のある音質差評価方法のひとつとされ、デジタル・オーディオの伝送周波数上限決定の根拠としても唯一の方法として採用されている Therstone<sup>36)</sup>の方法にもとづく CCIR の勧告する一対比較法にのっとり実験心理学的検討を、この方法論それ自体の吟味をともなうかたちでおこなった。

呈示用音資料は、前述の脳活性についての実験とおなじく、高周波成分を豊富にふくむガムラン音楽とし、CCIR の勧告する方法に準拠し、呈示時間12秒、一対の音資料の呈示間隔は3秒とした。26kHz 以上の高周波音を除外した音資料 (HCS) を A、除外しない音資料 (FRS) を B とすると、休憩をはさんだ前半（あるいは後半でもよい）の実験 [X] では A-A、A-B の組合せを各5対ずつ、後半（あるいは前半）の実験 [Y] では B-B、B-A の組合せを各5対ずつランダムに呈示し、前半と後半をあわせると、A-A、A-B、B-A、B-B が各5対ずつ全部で20対の組合せになるようにした。このように設定すると、実験 [X] では、HCS が FRS よりもおおく呈示されるため、高周波成分に接する頻度が相対的にひくくなり、実験 [Y] では、FRS の方が HCS よりもおおく呈示されるため、高周波成分に接する頻度が相対的にたかくなる。40名の被験者に対して、組合せをおしえないでこれらの音のペアを呈示し、“おなじ” か “ちがう” かを答えさせ、A-A あるいは B-B の対を “おなじ”、A-B あるいは B-A の対を “ちがう” と判断した回答を “正解” とした。

この結果を、t検定をもちいて統計的に分析した。まず、実験[X]と実験[Y]をあわせて20対の音呈示による実験としてみた場合、その成績には有意な差が無く、高周波の有無による音質差が知覚されていないと判断される(図20-A)。つまり、この場合は、先行しておこなわれた諸研究の結果とよく一致するということになる。

次に、実験[X]と実験[Y]とを別々に分析した(図20-B)。高周波に接する頻度が低い実験[X]では、95%の信頼度で、高周波成分の有無が音質のちがひとして知覚されていることがしめされた。これに対して、高周波に接する頻度がたかい実験[Y]では、99.5%の信頼度で、高周波成分の有無が音質のちがひとして“負の知覚”をされている、つまりまちがった確率が偶然にまちがう確率よりも有意にたかいというきわめて注目すべき結果

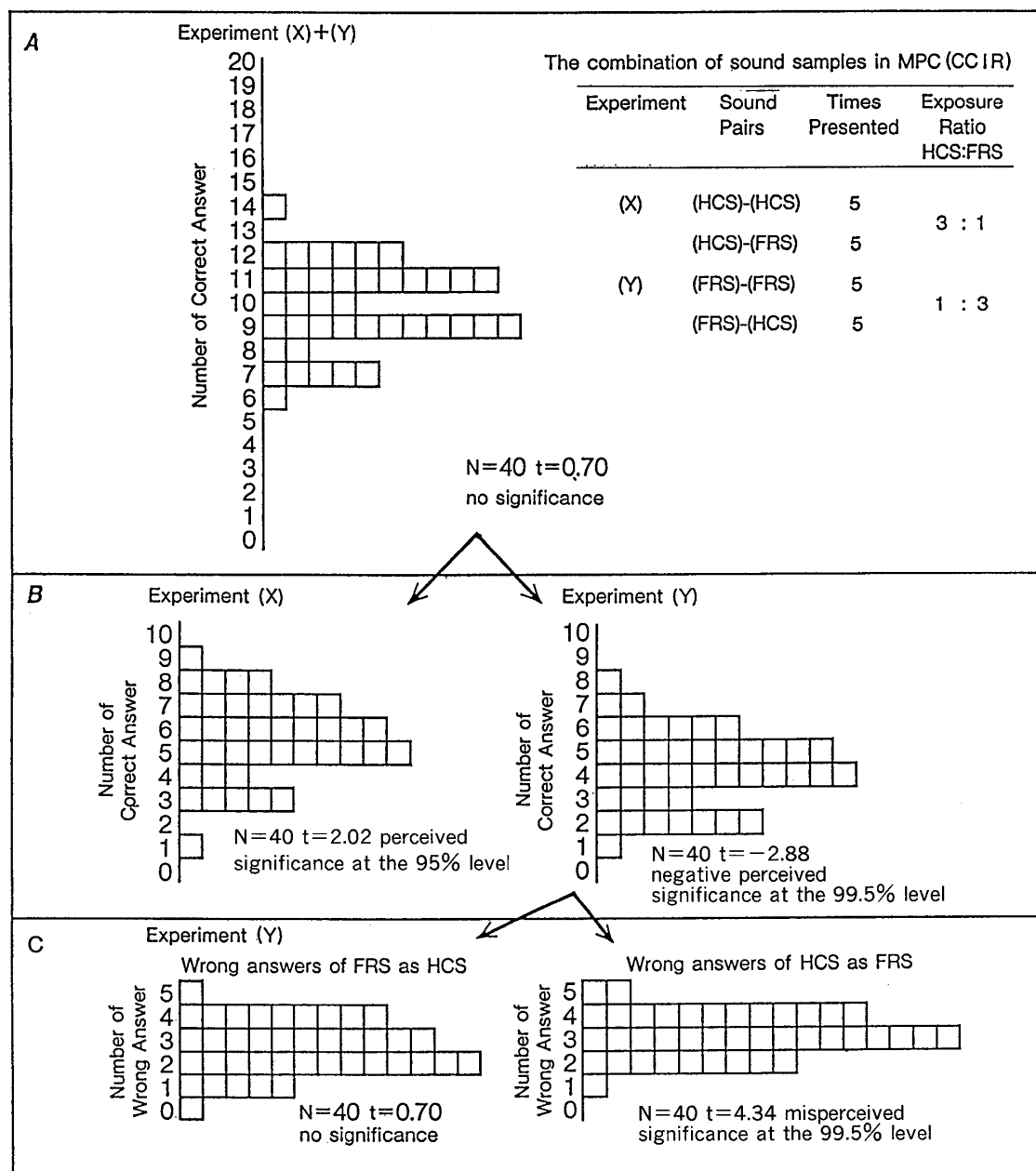


図20 CCIR の一対比較法による高周波音の附加・除外による音質比較実験の結果

がえられた。

そこでさらに、実験 [Y] について、まちがった回答の内容を調べたところ、“高周波をふくむ音を高周波をふくまない音であるとしてまちがって知覚する割合”は、偶然にまちがう確率と有意差がなかった（図20-C）。ところが、“高周波をふくまない音を高周波をふくむ音であるとしてまちがって知覚する割合”は、この実験においては偶然にまちがう確率を有意にうわまわっていることが、99.5%というきわめてたかい信頼度でしめされた。この結果は、高い頻度で高周波音をふくむ音を呈示すると、それにつづいて呈示される高周波音を除外した音の知覚に対して影響をおよぼし、それを高周波をふくむ音として知覚させるということを意味している。

以上の結果から、CCIR の勧告する方法は、さきに BEAM の検討でみいだされたような高周波成分の影響が残留する可能性を原理的に考慮していないことによって、事実を反映しない結論をみちびくことがわかった。すなわち、みじかい音を頻繁にきりかえて呈示するこの方法では、高周波成分が豊富にふくまれている音素材をつかう場合には、被験者の回答が混乱し、あやまった結論がみちびかれるおそれがあることが統計的にしめされたわけである<sup>34)</sup>。

そこで、つぎに、高周波成分の影響の残留による結果の混乱をふせぐ可能性をもったよりあたらしい一対比較法実験として“Scheffe の方法<sup>37)</sup>”を採用し、高周波成分の存在が音質変化と関連があるかについて主観的評価実験をおこなった。その結果、可聴域をこえる高周波の有無によって音質差が知覚されることをたかい有意水準で支持する結果がえられた(表3)。被験者は、高周波をカットしない音を、高周波がカットされた音よりもより柔らかく、余韻ゆたかで、楽器のバランスがよく、耳あたりがよく(以上信頼度99%)、ニュアンスの変化にとむ(信頼度95%)ものとして知覚していることがわかった。

つまり、ガムラン音の26kHz 以上の高周波成分はそれ単独では音として知覚されないが、それが可聴域成分と共存すると脳電位活性に影響をおよぼすとともに、音質の知覚に

表3 26kHz をうわまわる高周波をふくむ音 (FRS) とふくまない音 (HCS) との音質のちがい (シェッフェの一対比較法による)

評 価 語 対 (FRS/HCS)	音質差を識別したと 判断される信頼度
柔らかい / 硬い	99% (q=5.33)
余韻型 / アタック型	99% (q=5.01)
各楽器音がつりあっている / 特定の楽器音がめだつ	99% (q=4.57)
耳あたりがよく響く / 刺激的に響く	99% (q=4.44)
ニュアンスの変化が大きい / ニュアンスの変化が小さい	95% (q=3.63)
低音がめだつ / 高音がめだつ	— (q=2.25)
厚い / 薄い	— (q=1.70)
軽い / 重い	— (q=1.13)
好き / 嫌い	— (q=1.12)
きめが細かい / きめが荒い	— (q=0.14)

も関連をもつといえる<sup>35)</sup>。これまでは、およそ15kHz以上の高周波をカットした音とカットしない音とのあいだの音質のちがいを人間は識別できないとされていたが、それは、実験手法上の欠陥によるものとかがえざるをえない。

以上を要約すると、自然性のたかいすぐれた音環境のなかに豊富に存在する一方、都市居住空間では高度に排除されている可聴域をこえる高周波は、それ単独では人間の耳にはもちろん音としてきこえない。しかしそれは、無意識のうちに脳にはたらきかけて $\alpha$ 波の活性を顕著にたかめ、しかもその効果は高周波による刺激がなくなったあとにも数十秒間残留する。さらに、自然音に可聴域をこえる高周波が共存した場合、その音は、高周波を人工的に排除した音にくらべて、よりこころよくニュアンス豊かにきこえることが、統計的にうらづけられたわけである。これらによって、ある種の自然音源から発せられる、可聴域をこえる一定の構造をもった高周波が、環境の快適化やリラクセーションに貢献していることが支持される。高周波成分によるこのような生理的・心理的效果を、“ハイパーソニック・エフェクト (Hypersonic Effect)” とよぶことにした。

#### 〈音響知覚の二次元モデル〉

それでは、ハイパーソニック・エフェクトは、どのような生理的メカニズムによってひきおこされるのだろうか。このことを説明するために、脳科学および分子生物学の知識を援用して、人間の音に対する感受性について二次元の構成をもつモデルをたてた (図21)。

すなわち、20Hz～20kHzのいわゆる可聴域は、聴覚受容器を介して“メッセージ・キャリア”として機能する。これは従来の聴覚による音響知覚現象に相当する。それに対して、20kHz以上の高周波は、聴覚系以外のなんらかの体性感覚系を介して脳にはたらきかけ、その活性を変化させることによって間接的に可聴音の知覚に影響をおよぼす。すなわちこの周波数領域は“モジュレータ”として機能するというものである。

ここで観測される脳波 $\alpha$ 波帯域の活性化が時間的おくれをとめない、さらにいったん活性化されたのちおはばに残留するという現象は、高周波によって活性化される神経系が、シナプスにおいてゆっくりした代謝挙動をおこなう神経伝達物質をもっていること、そしてシナプス後ニューロンのイオンチャンネル制御において、二次伝達メッセンジャーが関与していることを示唆する。また、Scheffeによる一対比較実験の結果は、高周波と快感誘起神経系との関連をしめしている。以上から、自然の高周波成分によるモジュレーション

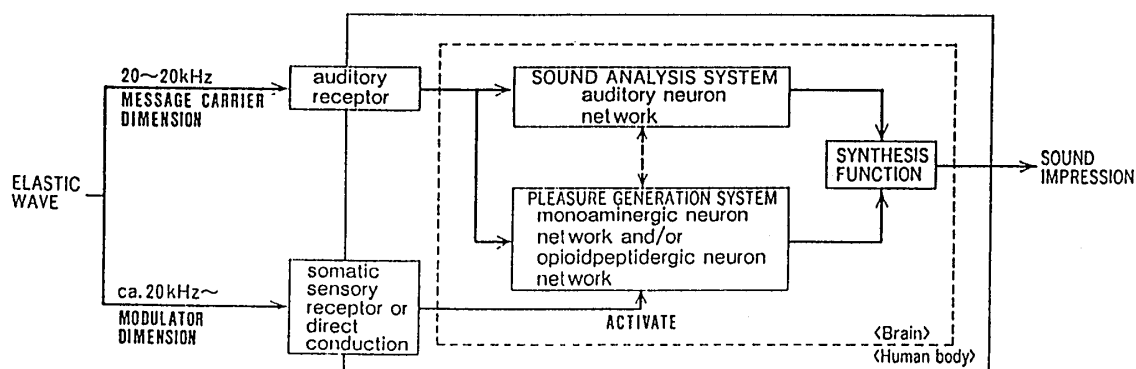


図21 音響知覚の二次元知覚モデル

効果が、大脳辺縁系を中心に分布し、シナプス伝達の遅延や残留をうみやすい性質をもった報酬系神経回路（モノアミン神経系、オピオイド神経系など快感発生に関与する回路）に関連している可能性がたかいたかんがえられる<sup>35)</sup>。

ハイパーソニック・エフェクトの発見は、1991年10月、ニューヨークでおこなわれたオーディオ・エンジニアリング・ソサエティ1991年大会で発表した<sup>35)</sup>。従来の定説と一致しない内容をふくむ報告であるにもかかわらず有効な反論はなく、この研究は一応認知されたのではないかと判断される。また、この発見に対する社会的関心は予想以上にたく、発表後は、テレビ、新聞、雑誌などのジャーナリズムでの紹介があいついでいる。

## 5. あたらしい知見をいかして快適な音環境をつくる

都市の音環境についての問題をあらためてとりまとめてみると、動植物をはじめとする自然環境音発生源が極度に減少する一方で、車両や機械などの騒音発生源が激増し、それに対応して建築物の遮音性を高度化した結果、屋内では、壁を透過することのできるひどい周波数の成分をのぞいて、ほとんど音がないような環境が出現している。それに対して、自然性のたかい音環境では、周波数スペクトルのうえでは可聴域上限である20kHzをはるかにうわまわる高周波領域にまでかなり顕著なパワーがみとめられる。また都市環境と自然環境とでは、そのゆらぎ構造の面でも、おおきなへだたりがある。つまり、現在の都市の音環境については、プラス要因としての音が減少し、マイナス要因としての音が増大するという二重の打撃がおよんでいることがわかる。したがって、ここに直面している問題を解決するためには、マイナス要因の排除だけではかたておちであり、プラス要因の補完をかくことができない。

このような理由から、都市の屋内外に、環境のプラス要因としてはたらく音源を今後復活ないし造成することは、困難ではあるが避けることのできない課題といえる。その主力は、発生する音のクオリティーが物理構造の面からみてもっとも優秀な、そして脳・神経系との親和性が歴史的に確認されている点でもっとも安全な動植物性の音源でなければならないだろう。そうすることによって必然的に起こる昆虫や微生物などの増殖が、生物との共生について科学的・技術的検討がたちおくらしている現在の都市計画や環境衛生と抵触しないための工夫など、関連して発生する問題のたくみな解決も準備されなければならない。

しかしながら、精密な科学技術的作業環境など、動植物の共存が不可能な空間や、既存の高層高密度住宅屋内などでは、自然の音源を導入する方途は事実上とざされている。そこで、こうした空間では、オーディオ技術によってしかるべきバックグラウンド環境音を再生し、原環境音とあわせて適切な音環境を造成することが、一定範囲でゆるされてよいだろうとかんがえる。これについては、人間と音環境との関連についての科学的な検討と、たかい水準の技術とを本格的に応用することによって、かなりの効果を期待することができる。その実例として、わたくしたちの研究の成果の応用をこころみ、その有効性が確認されている事例を紹介する。

### (1) 作業空間の音環境を改善する

#### 〈原環境〉

きわめて高度に遮閉され、外部からまったく自然環境音が到達できない先端技術の作業空間やオーディオビジュアル装置による学習環境などが、いま急激に増加しつつある。こうした空間では、集中性のたかい作業を長時間にわたって持続する必要がある、脳に対する負担は非常におおきい。そのため、そうした空間が、脳の負担をひくめられるような情報環境としての特性をそなえているかどうかきわめて重要な問題となる。

こうした作業空間の典型例として、大型工場の中央制御室の音環境をとりあげ、わたくしたちが開発した音環境の物理構造解析手法をもちいて、まずこの部屋の原環境音の計測と解析とをおこなった(図22)。その結果、この中央制御室の原音環境は、低域側にかたよった周波数スペクトル、機器類の発するランダムなノイズや超高域発振音のするどいピークなどによって自然の音環境とはほどとおい構造をもっていることがあきらかになった。

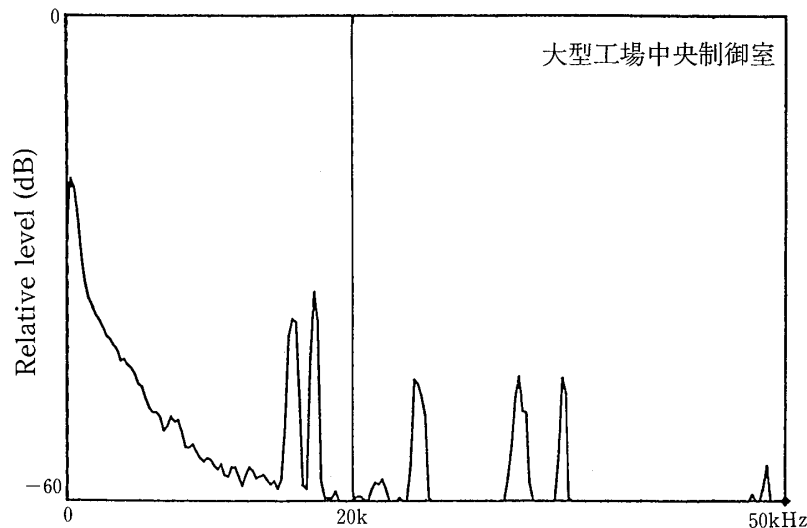


図22 原環境音のパワースペクトル

#### 〈ハードウェア〉

この作業空間に、可聴域をこえる超高周波領域まで再生可能な図23にしめす再生装置系を設置し、この空間の原環境音に、高周波成分を豊富にふくむ環境音と高周波成分をカットした環境音とを交互に附加して再生できるようにした。再生装置系は、まえにのべた高周波附加～除外実験でもちいたシステムを、作業の障害にならないように極力コンパクトにくみなおして使用した。

#### 〈ソフトウェア〉

作業空間において使用するバックグラウンド環境音は、作業のさまたげになってはならないことはいうまでもない。作業者の集中力をそいだり、注意をひいたりすることがないようにするためには、旋律をもった音楽などを使用することはかならずしも適切とはいえない。そこで、ここで使用する音素材として、ハイパーソニック・エフェクトの発生を期

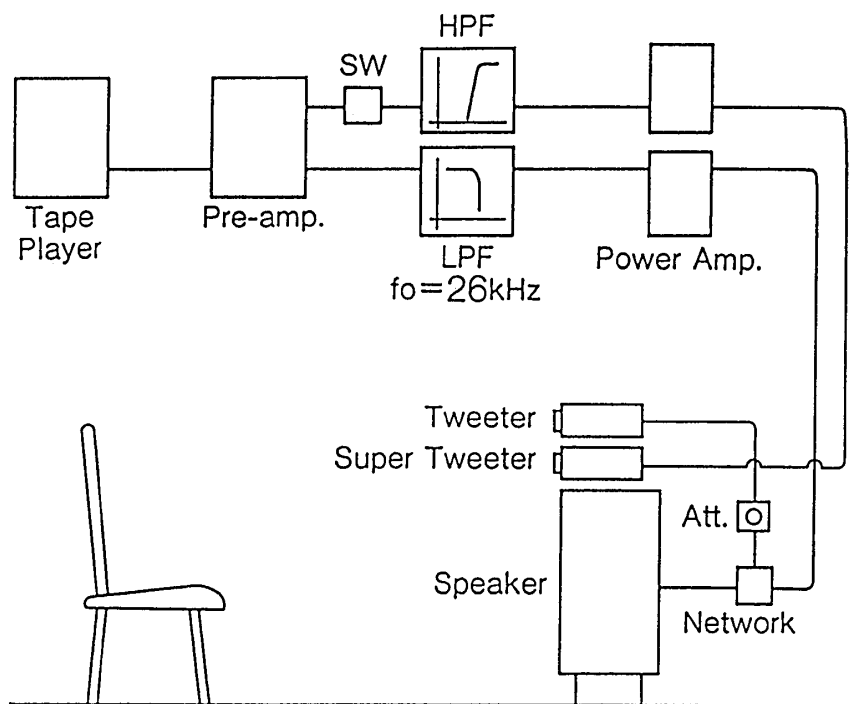


図23 実験に使用した再生システム（バイチャンネル再生系）

待できる優秀な音素材であり、かつ作業者にその存在を意識されにくい自然環境音をえらんだ。具体的には、インドネシア・バリ島の快適な自然環境で収録した鳥や虫の声をふくむ環境音をもちいた。

以上のハードウェアおよびソフトウェアの機能の実質を評価するため、聴取者の耳の位置にマイクロフォンをおいて、再生された上記の環境音を計測・分析したところ、50kHzにおよぶ高周波が豊富にふくまれていることが確認された（図24）。

#### 〈評価の計測〉

さきに開発した脳活性計測法をもちいて、原音環境そのままのとき、高周波を豊富にふくむ自然環境音を附加したとき、そして高周波をカットした自然環境音を附加したときの、被験者の脳活性を計測・分析した。

まず、原環境におかれた被験者の脳電位活性をしらべると、 $\alpha$  波の活性がひくいレベルにおさえられ、不快感やストレスを十分に排しきれていないことが示唆された。つぎに高周波を豊富にふくむ環境音を、その再生音圧が、ひかえめな音量ながら原環境音の高周波のピークなどの機械騒音をカバーするレベルに達するように供給した（図25）。その結果、被験者の脳電位は  $\alpha$  波の活性を上昇させ、状況が改善されたことを指標するようになった。さらにこの場合、可聴域をこえる高周波成分をバランスよく豊富にふくんだ環境音が附加されているときの方が、そうした高周波成分をカットした環境音が附加されているときよりも  $\alpha$  波がより活性化されていることがみいだされた（図26）。

以上の結果は、遮閉性のたかい人工的な空間のなかで高周波成分が特異的に遮断されている現状に対して、これを放置せずなんらかの対応をおこなうことが必要であることを示唆している。同時に、高周波成分を豊富にふくむ良質の自然環境音を人為的に供給するこ



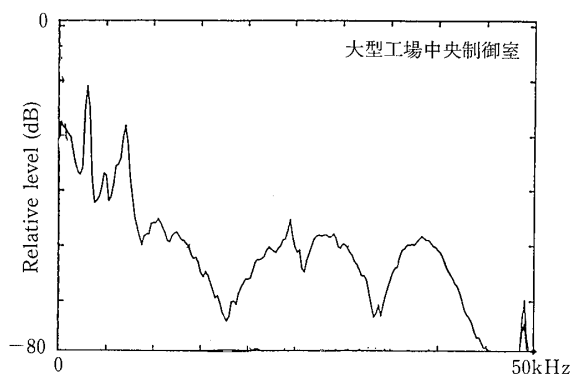


図24 呈示した原環境音のパワースペクトル

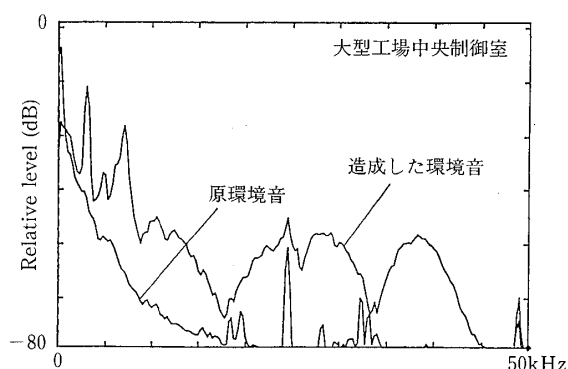


図25 原環境音と造成した環境音

原環境音下の  $\alpha$  波活性



造成した環境音下の  $\alpha$  波活性

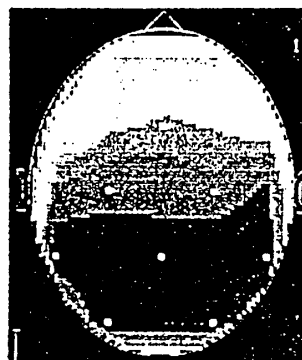


図26 高周波環境音再生による脳電位の変化

とによって、こうした現実の音環境の欠陥を補完し、快適な音環境を造成する可能性があることを期待させるものといえる。

## (2) リラクセーション環境シミュレーターのこころみ

現在、“シンクロエナジャイザー”や“ボディソニック”など、視聴覚情報刺激によってリラクセーションをもたらす機器がつぎつぎと開発され、一種のブームになっている<sup>38)</sup>。これは、ストレス社会のなかにあって効果のたかいリラクセーション・システムへの需要がたかまっていることをしめしているといえる。

こうした状況をふまえ、早大理工研山崎芳男博士、ロフテー株式会社をはじめとする各方面との提携、協力によって、ハイパーソニック・エフェクトの応用を特徴とした実用性のある“リラクセーション環境シミュレーター”の開発をこころみた。

### 〈コンセプト・デザイン〉

人類のゆりかごといわれる熱帯雨林の情報環境は、巨大な樹木をはじめとするゆたかな植生、そこに生きる獣、鳥、虫などのさまざまな動物によって、目をたのしませ耳をよこばせる情報にみちあふれている。ところが都市空間では、そうした自然の景観や音源が減少し、人工的建造物や機械のすがた、そしてエンジンノイズにおきかえられてきた。この不快な刺激からのがれるために、都市の生活空間はコンクリートの壁をめぐらした結果、

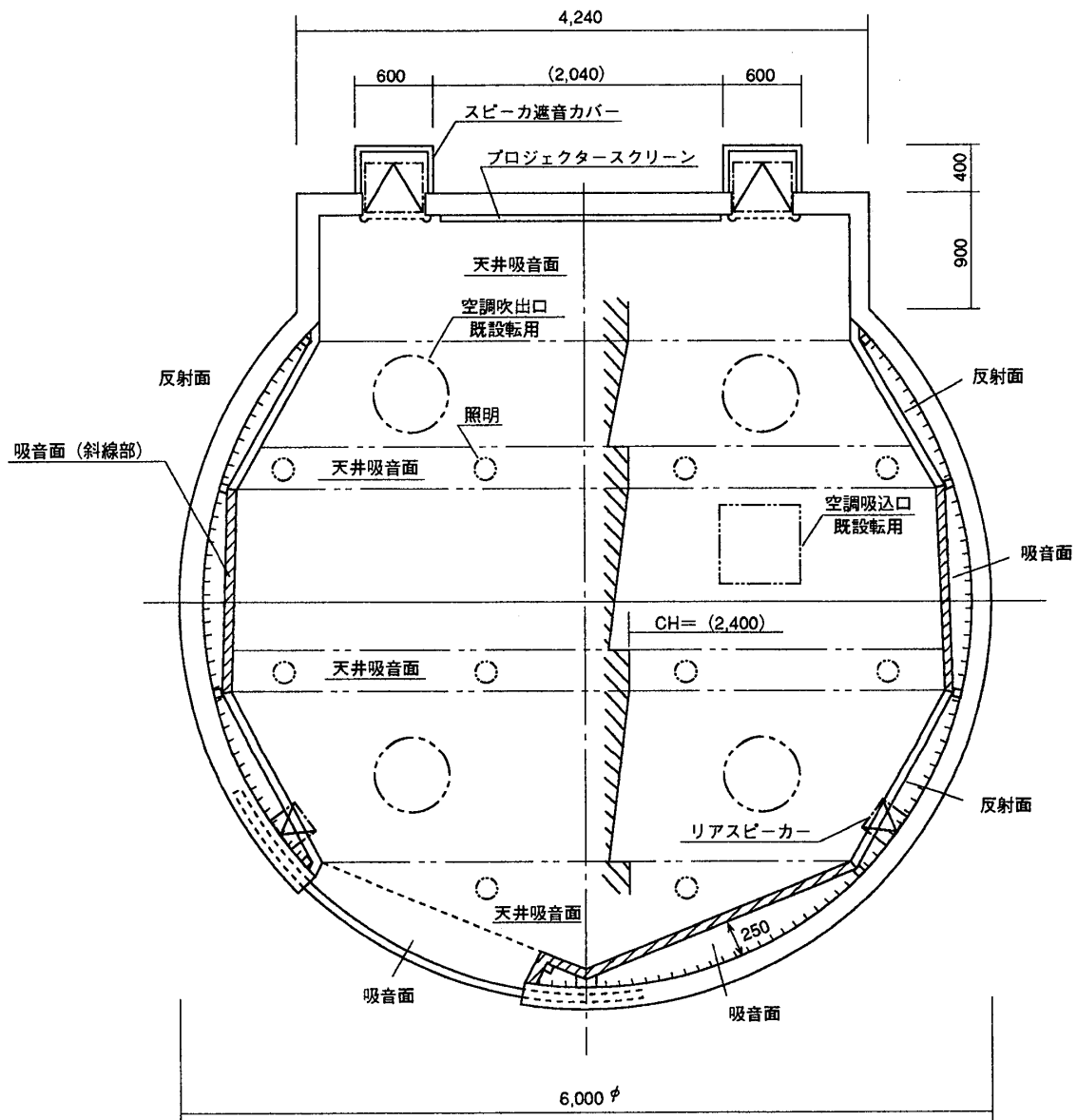


図27 リラクセーション環境シミュレーターの平面図

人間の基本設計に適合した環境情報がほとんど皆無にちかい状態にまで欠乏するにいたっていることについてはすでに指摘したとおりである。こうしたことに対する苦痛や不安は社会的に無視できないものになってきている。そこでこのようにして悪化した都市の情報環境を効果的に改善することを目的にした“リラクセーション環境シミュレーター”を構想した。これは、自然がもっていた快適な情報環境を、先端的科学・技術の支援によって都市のなかに近似的によみがえらせることをこころみる機能をそなえた実験空間である。居住性に留意してデザインされたスタジオ機能性空間に、オーディオ・ビジュアル再生システムを中心にして、1/f ゆらぎ構造を造形にとりいれた壁、森林の香りに近似させた空調、さらにリラックス効果を意識してデザインされた椅子など、環境トータルのシミュレーションを可能にする全体構成をとることにした。(図27)。

〈ハードウェア〉

このシミュレーターの最大の特徴となるハイパーソニック・エフェクトの応用機能については、これまで存在しなかった超広帯域の録音・再生性能が必要であるため、従来のオーディオ界の通念からすると、実用化はきわめて困難と判断しなければならない。前項でのべた作業空間の音環境を改善する実験においても、われわれが使用している実験室用の特殊な再生システムを臨時的に移動、設置してはじめて実験が可能になったものである。

このシミュレーター用再生系の開発では、とくに、超広帯域のソフトウェア記録媒体から信号をとりだす復調系をどうつくるかが、もっとも困難視された。たまたま幸運なことに、さきにのべたとおり、早大理工研特別研究員・山崎芳男博士が開発された1ビット高速標本化方式(山崎方式)によるA/D・D/A変換システムの実用性が確認された。そこで、この方式を採用することとし、そのD/A変換部を導入することによって、このもっとも困難な課題を解決することができた。これに現用のDATなどの記録媒体をくみあわせて、録音時間を短縮することなく100kHz以上の高周波まで再生可能にすることができた。

それについて困難な課題は、高度な高周波再生能をもったスピーカーの開発である。その核心部分は、パイオニア株式会社の協力によって開発された、アモルファスダイアモンド製ダイアフラムによる超小型ドーム型スーパートウイーター、あるいは同社製ベリリウムリボントウイーターを使用することによって確立した。これによって100kHzまでの高域再生を可能にするとともに、さらに小型ベリリウムダイアフラムをもつ高性能ホーンドライバを開発し、これらをシステム化することによって可聴音の中・高域の動特性を極度に向上させたあたらしいスピーカー・システム(OOHASHI MONITOR)のプロトタイプを完成した。以上のようにして、100kHzまで再生可能な“超広帯域音環境造成システム”を、シミュレーター全体の柱として構築することができた(図28)。

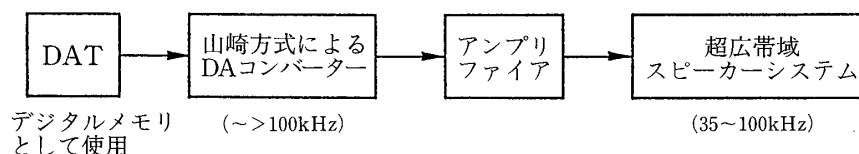


図28 リラクセーション環境シミュレーター超広帯域音環境造成システム

映像映写装置としては、反射型100インチビデオプロジェクターを設置し、ED ベータまたはS-VHS フォーマットにより高精度のビデオ画像の再生を可能にした。

さらに、武者利光東京理科大学教授(放送教育開発センター研究協力者)に設計を依頼して、“1/f ゆらぎ”構造をもった音響反射板をつくり、シミュレーター空間内に設置した。また、空調系に鳥居鎮夫東邦大学名誉教授の開発による“香りの空調装置”を導入し、森林などの自然環境情報を嗅覚面で近似することとした。

#### 〈ソフトウェア〉

前述のハードウェアに対応して、ソフトウェアは山崎方式による超広帯域音声情報を中核にすえ、これと有機的に連関する視覚情報をとみなわせたオーディオ・ビジュアル・ソ

ソフトウェアを試作した。山崎方式による超広帯域デジタル・レコーダーをつかって蓄積してきた自然環境音、楽器音、人間の声などさまざまな音素材を資源としてもちいた。そのなかから、リラクセーションに効果がたかいとかんがえられる音素材をえらんで編集し、超高周波デジタル・サウンドを搭載したソフトウェアをオリジナルに開発した。自然性と洗練とが高度に融合したブルガリア民族合唱やおなじくブルガリアの民族楽器ガイダの演奏、ガムランとシンセサイザーとをくみあわせてつくられたオリジナル作品などで構成された音楽、さらに熱帯や亜熱帯雨林のすぐれた環境音などを素材とし、およそ30分のながさをもつオーディオソフトをつくりあげた。音声信号は、50kHzをこえる高周波成分をもち（図29）、現在の規格によるデジタル・オーディオではけっしてあじわうことのできないつよいリラクセーション効果をもった音空間を造成することを可能にしている。視覚情報は、ブルガリアで現地ロケによって撮影された良質の環境映像を、音声情報にあわせて編集した。

なお、オーディオ信号は山崎方式によってDATに記録し、ビジュアル信号はEDベータ・ビデオカセットに記録して、両者をSMPTEタイムコードによって同期再生させた。

#### 〈有効性の評価〉

このリラクセーション・シミュレーターの来場者は、すでに1500名をこえ、いずれも好評をえている。たとえば「人間の耳には聞こえないとされてきた高周波を含む音を、特殊な装置を使って再生、聞き手の『心地よさ』を高めてリラックスできる部屋」<sup>39)</sup>、「高周波をたっぷり浴びたせいなのか、体が軽く感じる。寝不足ぎみの頭も妙にすっきりした。」<sup>40)</sup>、「この空間に身をゆだねると、熟睡した後のようなすっきりした気分が味わえる。」<sup>41)</sup>というような報告がなされている。また、おおくの来場者がソフトウェア再生開始後10分前後でねむってしまうという現象が観察されており、緊張状態からの急速な解放が実現していることを示唆している。

こうしたリラクセーション効果を定量的にたしかめるため、脳電位活性の変化を計測した。その結果、オーディオビジュアル信号呈示開始直前の $\alpha$ 波の活性にくらべて呈示終了直後の $\alpha$ 波の活性があきらかに増大していることが、99%の信頼度でうらづけられた。ところが、オーディオ信号の処理方式を現行の48kHz標準化16ビット量子化(24kHz以上の高波はカットされる)という条件にきりかえると、この効果はうしなわれる(図30)。この

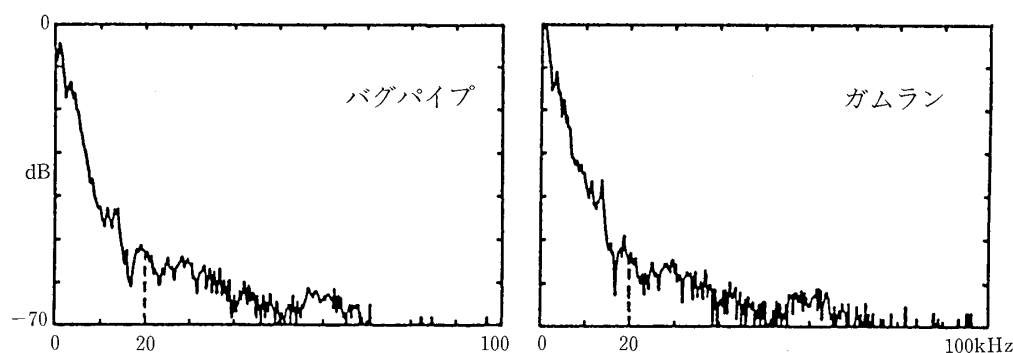


図29 リラクセーション環境シミュレーター内の再生音

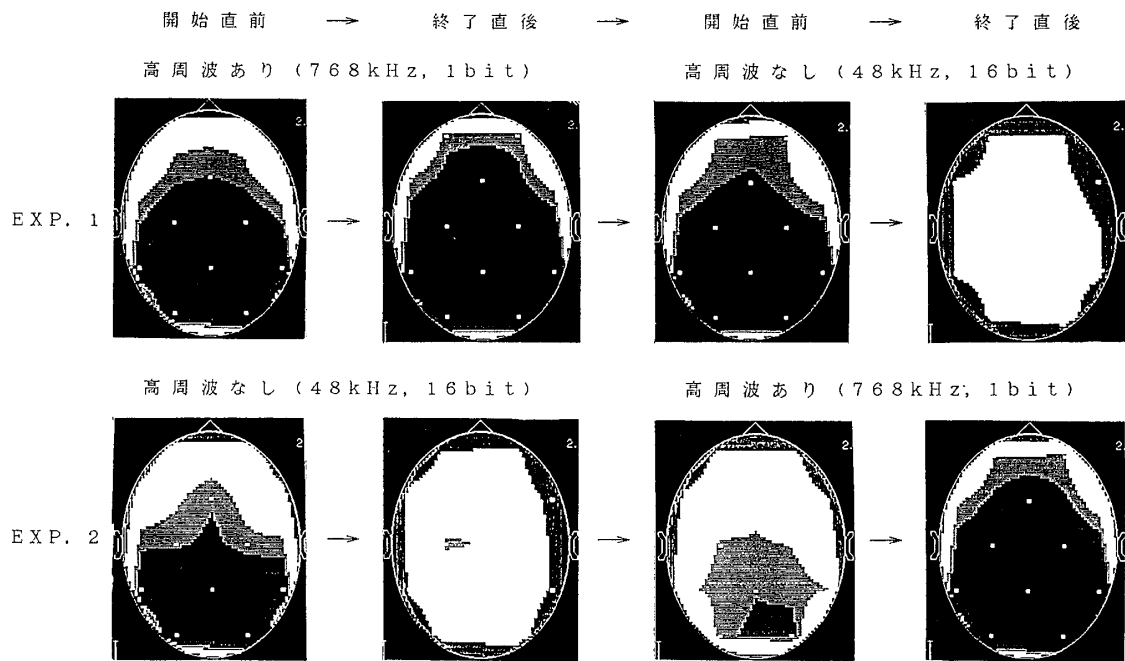


図30 リラクセーション・シミュレーターによる映像音響呈示前後の  $\alpha$  波活性の変化

ことから、今回構築したリラクセーション・シミュレーターの有効性の要因として、高周波によるハイパーソニック・エフェクトのはたす役割は、不可欠なものとかんがえられる。

## 6. むすび

1990年代をむかえ、都市化とメディア化とがふかまるなかで、“音環境デザイン”という情報環境制御のあたらしいおおきな潮流が登場した。その背後には、騒音源となる車両や機械類の激増、自然環境音発生源となる動植物の希少化、そして遮音され無音化した屋内空間の出現という音環境の根底からの変容がある。音環境デザインの発想のなかでとくに注目されるのは、「環境音はすなわち騒音であり、一方的に排除すべき対象である」とする従来の“正統的な”かんがえかたにかわって、「のぞましい音環境とは、なんらかの快適な音が存在する環境である」とするあたらしいかんがえかたが台頭し、社会の支持をあつめつつあることだろう。

「音の大きさ」という量的な側面しかみようとしないこれまでの音環境質の評価法では、このあたらしい価値観にもとづく社会的要請に対応することはきわめて困難といわなければならない。そうした限界を打破するために、わたくしたちは、環境音の精密で多元的な記録・分析法をあらたに開発してきた。それらによって自然性のたかい快適な音環境と都市の音環境との音響物理学的な構造を比較すると、その質的な差には歴然たるものがある。たとえば、都市騒音の周波数分布が10kHz以下の低域に集中しているのに対し、自然環境音のそれは50kHzをこえるほどの広帯域に分布し、豊富な高周波成分をふくんでいる。またゆらぎ構造のうえでも、両者はほとんど共通性がみとめられないほどおおきな違いをもっている。

おなじくわたくしたちの開発した脳波を指標とする音環境質の生理学的評価法でしらべ

たところ、自然環境音を遮断し無音に近づけた空間内では、おおくの被験者の脳波が快適性やこころのやすらぎの指標となる  $\alpha$  波の活性を低下させ、またはストレスの指標となる  $\beta$  波の活性を増大させることがわかった。また可聴域をうわまわる高周波を豊富にふくむ自然音を広帯域高精度下に録音し、それを高忠実度で再生呈示すると、 $\alpha$  波の活性が増大することもみいだされた。ところが、この音のなかから26kHz以上の高周波成分をカットして呈示すると、その  $\alpha$  波の活性は低下してしまう。しかもこの高周波成分の共存によって、音はより耳あたりよく快適に知覚されることが計量心理学的にうらづけられた。

このような基礎的な知見は、現実的に有効な応用可能性をもつこともたしかめられた。たとえば、高度に遮閉された作業環境の音環境質を、高周波を豊富にふくむ自然環境音の附加によって改善することが、脳波計測によってしめされた。またリラクセーション・シミュレーターを開発してモデル情報空間をつくり、実験をおこなったところ、高周波を豊富にふくむ自然環境音や民族音楽が、良質の自然環境の映像とか森林の香りなどと協調して、顕著なリラクセーション効果を発揮することがわかった。

あたらしい方法論にもとづくこれらの実証的な検討の結果からすると、現在正統的な立場にある、「すべての環境音を一括して排除あるいは抑制の対象にする」という音環境質についての価値基準は、原則的に重大な問題をもち、早急にみなおすべきものといわなければならない。同時に、現在おおくの専門家がその影響下にある、「快適な音・このましい音とは個人的趣好ないしは文化的規範に属する問題であるがゆえに、その一般概念を積極的に考慮すべきではない」とするかんがえかたも、性急にすぎた結論でないかが問題となるだろう。

音環境についてのこうした従来の立場に比較して、わたくしたちが設定した「人類にも、他の動物と同様に、生物学的・生理学的に適合した音環境構造が本来プログラムされている可能性がおおきい。その有力な候補として、人類発祥の環境といわれる熱帯雨林の音響空間を想定する」という作業仮説は、より妥当性のたかいものとはいえないだろうか。

この観点にたつと、音環境デザインに象徴される快適な音環境の造成という現代社会の要請にこたえるうえでもっとも有効かつ安全な対策は、熱帯雨林が代表する自然性のたかい快適な音環境をかたちづくっている動植物性の自然音源を、人間の生きる環境のなかに復活、増殖させることといえる。しかしいうまでもなく、この方法によって問題を解決することは、現実的には容易ではない。またこの方法がただちに採用されたにしても、その効果が十分に発揮されるまでに多大の時間を要することはあきらかである。さらに、さまざまな理由によって動植物の導入が不可能な空間もすくなくない。

こうした現状からみて、当面の音環境質の改善、快適化のうえからは、人類に生理的・心理的に適合した音環境についての高度な知見と水準のたかいオーディオ技術とを統合した、メディア利用による音環境の造成が、ある範囲内でゆるされてよいだろう。このやりかたは、現実的にもっとも有望な方策として期待される。とくに、1990年代におけるあたらしい研究と技術開発とによって、この方向での画期的な進展が可能になり、おおきな展望がひらかれた。

ただし、メディアを応用した音環境の造成については、考慮しなければならないひとつ

の重大な問題がある。たとえばわたくしたちが発見し、音環境改善のうえで画期的な有効性がすでにたしかめられているハイパーソニック・エフェクトについてみても、人間に音としてはきこえないたかい周波数の成分が無意識のうちに人間の脳・神経系に強力にはたらきかけ、その活性の変化をひき起こすという特異的な作用がある。これは、自覚の閾値に達しないレベルで、無意識のうちにつよい人体影響をみちびくという環境要因のもつ特徴が、情報次元で実証された例といえる。環境から入力するいろいろな要因のもつこうしたつよい人体影響は、それがマイナスに作用する場合は無論のこと、この例のようにあきらかにプラスに作用するものであっても、それを不適切に使用した場合に問題をひき起こすことがありえないとはいえない。したがって、このような情報環境要因のもつ効果の現実的応用にあたっては、ハードウェアはもとよりソフトウェアについても、その有効性とともになによりも安全性が確保されるよう、適切な専門家によって学術的および科学倫理的な面から厳密なモニタリングとアセスメントとがおこなわれなければならない。

こうしたことは、大気や水質、あるいは薬品や合成食品のような物質的要因については、過去の深刻な経験を通じて、一般社会はもとより化学工業、車両・運輸、電力などの関連業界レベルでもすでに常識になっている。そして事前評価をはじめ行政指導、法的規制におよぶかなり徹底した対応がとられていることは周知のとおりである。ところが、情報的要因については、社会の対応する分野における問題意識はいまだ萌芽的段階にとどまっている。

たとえば、本来は人類が接するはずのない人為的な視聴覚刺激などを集中的にあたえることによって一時的なストレス解消をはかるさまざまな方式が、本格的な影響評価をクリアしたかどうかの確証なしに市場にでまわっている。これらについては、かなり徹底したアセスメントが必要だろう。また音環境の造成、改善手段の面では、オーディオ業界の1992年度における話題のひとつになった“MD”すなわち、聴感のマスキング現象などを利用した、周波数帯域圧縮によるデジタルオーディオディスクの小型化の試みなどにも注意しなければならない。この方式は、メッセージキャリアーとしての音声情報を効率的に記録・再生する目的に対してはきわめてすぐれたものであり、たかい評価にあたいする。しかし一方においてこの方式は、意識でとらえうる心理的な反応に限定された評価方法のもとで比較試聴をおこない、その実験データ上におおきなちがいが反映しないことをほとんど唯一の根拠にして実用化された。脳・神経系に対する生理的影響の本格的な検討がおこなわれたかどうかについてはしめされず、これまでのところ、事実上その面は無視されているといってよい。ところが、こうしたシステムがつくりだすものは、脳・神経系を通じて人体の生理に影響をおよぼす可能性をもった情報的要因にほかならない。もしも情報遮閉性空間の音環境造成にこの方法が単一で使用されたとすると、そこに形成される音空間は、すくなくとも高周波の欠除という脳・神経系の生理活性に関連する問題をともなうことになる。したがって、こうした目的への適用については慎重であるべきだろう

情報メディア産業では、業界を現在支配している発想や価値観の大勢が、水俣病前夜の製薬業や有機合成化学工業のような対症療法上の効果、経済効率、利便性、企業利益などを素朴に優先させた高度成長時代の後進性を脱しうるかどうかがひとつの課題といえよ

う。人類が生物としてそなえている宿命的な生理的限界や、人間の感性領域のもつ反応のおどろくべき深遠さに対する認識が希薄な水準にとどまっているならば、社会や人間におよぼす災害だけでなく、企業そのもののイメージや業績におよぼす負の効果もはかりしれないものになるだろう。メディア利用による音環境造成を安心しておしすすめ、真に社会に貢献するためには、かつて有機合成化学工業などが生命現象や人間性についての洞察に欠けたがゆえにわざわいをまねき、みずからもおおきな損失をこうむった愚をくりかえしてはならない。むしろ、自発的・積極的な管理体制の確立によって現在の隆盛の基礎をきづいたバイオテクノロジーの成功にならうべきだろう。

こうした点については、多元的な観点からのアカデミックなモニタリングおよびアセスメント、そしてその結果の公開が必須である。またそれらを背景にした衛生、教育、環境などにかかわる行政の側からの啓蒙、指導あるいは規制をふくむ強力な対応も、手おくれにならないうちに準備されるべきだろう。いうまでもなく、音環境の造成、再開発や改善にあたる当事者がわの自主的な対応のなかで、人間重視の価値観が主導権を発揮し、被害や損失の発生をさけることこそもっとも肝要である。

#### 〈文 献〉

- 1) 菱倉喬次・古澤隆彦：建築空間の音環境、日本音響学会誌、46巻9号、pp.764-768、1990.
- 2) 井出祐昭・一色このみ：発車ベルの新概念——JR 新宿駅・渋谷駅における音空間創造、日本音響学会誌、47巻4号、pp.300-301、1991.
- 3) 大橋 力：高密度生活空間の音環境における高周波音の生理的・心理的機能の検討と環境質評価、文部省科学研究費重点領域研究昭和62年度研究計画調書、1986.
- 4) クラハト・カツミ：公共の場からの音楽騒音一掃を、1989年9月20日朝日新聞論壇.
- 5) 佐々木實：公共の場の音環境の在り方、日本音響学会誌、46巻9号、pp.773-775、1990.
- 6) 大橋 力：情報環境学、朝倉書店、1989.
- 7) M. シェーファー（鳥越けい子他訳）：世界の調律、平凡社、1989.
- 8) 前川純一：建築・環境音響学、p.30、1990.
- 9) 環境庁編：環境白書平成3年版（各論）、pp.100-103、1991.
- 10) 長田泰公：騒音の健康被害、公衆衛生院研究報告、vol. 22、1973.
- 11) 安藤四一・渡辺 猛：音環境と聴覚・大脳生理、日本音響学会誌、45巻10号、pp.794-799、1989.
- 12) 三宅晋司・田中豪一・斉藤和雄：不快音の脳波に及ぼす影響、日本衛生学雑誌、36巻1号、pp.523-534、1984.
- 13) 日本建築学会編：建築物の遮音性能基準と設計指針、技報堂、1979.
- 14) 北村晴朗・大久保幸郎（編）：刺激のない世界、新曜社、1986.
- 15) Zuckerman, M.: Perceptual isolation as a stress situation, A review, Archives of General Psychiatry, 11, pp.255-276, 1964.
- 16) 野村総一郎：うつ病の動物モデル、海鳴社、1984.
- 17) 臺 弘：精神医学の立場からみた霊長類の行動異常の研究、精神医学、13(7)、pp.660-672、1971.
- 18) 文献6、p.22.
- 19) 臺 弘・町山幸輝：精神分裂病のモデル、分裂病の生物学的研究（臺 弘・井上英二編）、東京大学出版会、pp.57-84、1973.



- 20) 内田清一郎・菅原浩：適応の生物学、講談社、1977.
- 21) 文献 6)、p.254.
- 22) 時田保夫：住環境における Infrasound、日本音響学会建築音響研究委員会資料、AA90-01、1990.
- 23) 栗原洋四・永村寧一：低周波空気振動と可聴音の被分効果の計測法に関する研究、環境庁環境保全研究成果集 (II)、4、p.170、1980.
- 24) 山崎芳男：量子化雑音のスペクトル分布に着目した高速 1 bit 広帯域信号処理、AES 東京コンベンション'91予稿集、pp.168-171、1991.
- 25) 武者利光：ゆらぎの世界、講談社、1980.
- 26) 南 茂夫：科学計測のための波形データ処理、CQ 出版社、p.166-180、1986.
- 27) 日野幹雄：スペクトル解析、朝倉書店、p.84-94、p.210-236、1977.
- 28) Ter-Pogossian, M.M. et al.: Design considerations for a positron emission trasvers tomograph (PETT V) for imaging of the brain, J. Comput. Assist. Tomogr., 2, pp.539-544, 1978.
- 29) Kuhr, D.E. et al.: The mark TV system for radionuclide computed tomography of the brain, Radiology, 121, pp.405-413, 1976.
- 30) 文献12).
- 31) Sato, Y. et al.: An objective evaluation of anxiolytic effect of music for surgical patients, Masui, 32, pp.1206-1211, 1983.
- 32) Duffy, F.H. et al.: Brain electric mapping, A method for extending the clinical utility of EEG and evoked potential data, Ann. Neurorol., 5, pp.309-332, 1979.
- 33) 仁科エミ・大橋 力・河合徳枝：環境音からの遮断の生理的影響に関する検討——住環境質評価における生体情報計測の有効性に関する基礎研究(2)——、日本建築学会1991年度大会学術講演梗概集、pp.171-172、1991.
- 34) 大橋 力・仁科エミ・河合徳枝：環境高周波音の生理的・心理的機能に関する“トランス誘起モデル”とその検証、日本音響学会聴覚研究会資料、H-88-86、pp.1-8、1988.
- 35) Oohashi, T., Nishina, E., Kawai, N., Fuwamoto, Y. and Imai, H.: High Frequency Sound Above the Audible Range Affects Brain Electric Activity and Sound Perception, Audio Engineering Society 91st Convention (New York) Preprint 3207, pp.1-25, 1991.
- 36) Thurstone, L.: A law of comparative judgement, Psychol. Rev. vol. 35, pp. 273-286, 1927.
- 37) Sheffe, H.: An analysis of variance for paired comparisons, L. Am. Atat. Ass., 47, pp. 381-400, 1952.
- 38) 福山栄子：テクノロジーってエクスタシー？、ASAHI パソコン、No. 80、朝日新聞社、1992.
- 39) 朝日新聞1991年10月26日夕刊、科学面.
- 40) 武末高裕：聞こえない高周波の役目、人にやさしい技術23、ウェッジ 3 月号、pp.54-55、1992.
- 41) 片山一弘：「快眠」「リラックス」を追求するねむり文化ギャラリーα、企業文化探訪 6、ザ・ウォッチャー、No. 14、pp.30-31、1992.

(研究開発部教授)